



# FOTOWOLTAIKA

# KARLSRUHE

(Niemcy)

W rzeczywistości fotowoltaika (ang. PV) nie jest nową technologią. Szereg trudności spowodował jednak, że nie rozpowszechniła się na rynku komercyjnym. Oprócz opracowywania nowych, tańszych rozwiązań technicznych, możliwym rozwiązaniem tego problemu jest albo produkcja ogniw fotowoltaicznych na wielką skalę, albo innowacyjne programy realizowane w obszarach miejskich, udostępniające tę technologię dla większej części społeczeństwa. Powszechnie wiadomo, że koleje podmiejskie Karlsruhe jeżdżą także po torach Kolei Federacji Niemiec, jednak nie jest już powszechnie znany fakt, iż są zasilane przez energię elektryczną generowaną przez fotowoltaiczną instalację o mocy 100 kWp z roku 1998.

## MIASTO

W mieście położonym na dolnej równinie Górnej Nadrenii, w landzie Badenia-Württembergia, mieszka około 275 tys. mieszkańców. Karlsruhe jest znane z tego, że jest siedzibą Niemieckiego Federalnego Sądu Konstytucyjnego, instytutów naukowych (np. Centrum Badań Nuklearnych) oraz pałacu (zbudowanego w roku 1715), którego wieże stanowią punkt, w którym zbiegają się 32 ulice, ułożone na kształt wielkiego wiadra. Lokalna gospodarka tworzona jest przez firmy telekomunikacyjne, elektryczne, chemiczne oraz doki na Renie.

### Dane klimatyczne:

Liczba godzin słonecznych w roku: 1 650

Roczne napromieniowanie: 1 050 kWh/m<sup>2</sup>·rok



## TŁO PROJEKTU

Już od długiego czasu tramwaje w Karlsruhe poruszają się po byłych torach kolejowych. Kilka lat po uruchomieniu tego rozwiązania powstał, a następnie został wdrożony, pomysł wspólnego wykorzystywania tych samych torowisk przez kolej podmiejską i koleje federalne – obie koleje korzystają z torowisk kolei federalnych. Obecnie regionalna sieć kolei podmiejskich Karlsruhe jest jedną z największych w Niemczech. Rozwinięty w ten sposób system lokalnej komunikacji stał się powszechnie znany jako „Model Karlsruhe”, a miasto otrzymało nazwę „miasto modelowe komunikacji publicznej”. Nie powinno zatem dzisiaj dziwić, że systemy fotowoltaiczne odgrywają taką rolę w dostarczaniu energii elektrycznej dla kolei podmiejskich.

Podstawowym elementem programu działania Karlsruhe pod nazwą „Poszanowanie Energii i Ochrona Klimatu w skali Globalnej” jest wspieranie lokalnej komunikacji publicznej. W kontekście procesu Agendy 21 i biorąc pod uwagę warunki lokalne, rada miejska Karlsruhe ustanowiła w roku 1999 następujące cele dotyczące redukcji poziomu emisji do roku 2005 (w odniesieniu do roku bazowego 1990):

- Gospodarstwa domowe i przemysł: 15%.
- Sektor komunikacji i transportu: jedynie utrzymanie poziomu z roku 1990.

# DOŚWIADCZENIE MIASTA KARLSRUHE

Stadtwerke Karlsruhe, zakłady będące własnością miasta, uruchomiły swój własny program redukcji poziomu emisji CO<sub>2</sub>. Program wspiera wykorzystanie gazu ziemnego (w połączeniu z rozwojem systemu centralnego ogrzewania) oraz odnawialnych źródeł energii. W tej ostatniej sferze najnowsze badania wykazały celowość działań promujących źródła fotowoltaiczne. Cztery elementy objęte programem zasługują na to, by je wymienić jako działania o charakterze pionierskim:

- Instalacja o mocy 100 kW<sub>p</sub> umieszczona na dachu Centrum Sztuki i Technik Medialnych (ZMK).
- Instalacje fotowoltaiczne w szkołach.
- „Słoneczny dach Karlsruhe”.
- „Zielona” taryfa opłat za energię: „R-plus”.

## Instalacja 100 kW<sub>p</sub> na dachu ZMK

Na ogromnym dachu Centrum Sztuki i Technik Medialnych wzniesiono instalację fotowoltaiczną pokrywającą około 1000 m<sup>2</sup> dachu, o powierzchni skierowanej na południe. Instalacja może generować moc 100 kW<sub>p</sub>. Wytwarza ona prąd stały, kierowany bezpośrednio do sieci prądu stałego napędzającej tramwaje Karlsruhe.



W ten sposób, w ramach pilotowego europejskiego projektu, przetestowano funkcjonowanie instalacji fotowoltaicznej podłączonej bezpośrednio do sieci komunikacji miejskiej. W tym przypadku zbyteczna jest, zwykle wymagana w instalacjach fotowoltaicznych, zamiana prądu stałego na prąd przemienny. Przyjęte rozwiązanie stanowiło także wyzwanie



z inżynierskiego punktu widzenia, ponieważ system fotowoltaiczny pracuje przy relatywnie wysokim napięciu około 850 V, co wynika z wymogów sieci tramwajowej. Najważniejszym celem projektu jest przetestowanie trwałej przydatności takiego systemu. Dalsze cele to:

- zintegrowanie instalacji fotowoltaicznej z budynkiem z punktu widzenia architektonicznego,
- porównanie różnych metod montowania systemów fotowoltaicznych.

Projekt ten dał podstawy do prowadzenia nowych prac w roku 1997. Konieczne było narysowanie kryteriów projektowych dla generatorów elektrowni fotowoltaicznych dużej mocy podłączonych bezpośrednio do sieci wysokiego napięcia. W celu zoptymalizowania efektywności wytwarzania energii przeprowadzono z dużą dokładnością symulacje zacieniania, jakiego poszczególne elementy systemu mogły być poddawane. Zastosowano w tym celu programy symulacyjne RADIANCE oraz INSEL. Rezultatem tych prac było zmniejszenie o 8% do 11% strat w całej instalacji wynikających z zacieniania, dla jednego roku idealnego wytwarzania energii.

Projekt umożliwia nagromadzenie doświadczeń co do działania systemu przy zmianie napięcia i prądu, wywołanych przez trudne warunki pracy linii tramwajowych. Dzięki temu można badać wpływ na urządzenia fotowoltaiczne, jaki wywierają zaburzenia wywołane uderzeniami piorunów czy gwałtowne zmiany w szeroko rozgałęzionej i rozległej sieci tramwajowej.

Zintegrowanie modułów fotowoltaicznych z budynkiem z zachowaniem jego cech architektonicznych jest dalszym celem projektu. Szczególnie dotyczy to dużych modułów, zakrywających wewnętrzne dziedzińce. Dlatego instalacje te muszą spełniać wymagania strukturalne dotyczące zabezpieczeń pogodowych, zacienienia, przezroczystości i izolacji.

Całkowite koszty realizacji projektu wynoszą 1,2 mln €. Dyrektoriat Generalny Komisji Europejskiej zapewnia pokrycie 35% tych kosztów, natomiast Ministerstwo Ekonomii landu Badenia-Württembergia pokrywa dalsze 9%. Niemieckie Federalne Ministerstwo Edukacji, Nauki, Badań i Techniki (BMBF) zapewnia możliwość dopuszczenia systemu pomiarowego do niemieckiego państwowego programu pomiarowego. Zakłady Stadtwerke Karlsruhe, by urzeczywistnić ten pilotowy projekt wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych, wnoszą wkład ponad 450 tys.€.

### Instalacje fotowoltaiczne w szkołach

Od lipca 2000 r. na dachach trzech szkół w Karlsruhe (szkoła handlowa, szkoła podstawowa i ponadpodstawowa oraz gimnazjum) pracują, generując energię „słoneczną”, matryce fotowoltaiczne, każda o mocy 3 kW. Jesienią 1999 r. zakłady Stadtwerke Karlsruhe zwróciły się do szkół o dostarczenie planów ochrony środowiska dla projektu modelowego „Słońce w szkole”, oferując dotacje na łączną sumę 80 tys. €. Piętnaście szkół skorzystało z tej okazji i przedłożyło odpowiednie plany prezentujące rozwiązania nawiązujące do instalacji fotowoltaicznych, a także inne dodatkowe działania w ramach ochrony środowiska, planowane lub już realizowane. Na wiosnę 2000 r. komisja składająca się z przedstawicieli biura burmistrza, administracji szkolnej, miejskiego departamentu prac budowlanych oraz Stadtwerke Karlsruhe wytypowała trzy szkoły.



Komputer PC wylicza odpowiednie dane, które są następnie wyświetlane na panelu umieszczonym w danej szkole w publicznym miejscu. Każdy z systemów fotowoltaicznych kosztował około 25 tys. €. Poza wymaganym wkładem ze strony szkół w wysokości 750 €, instalacje zostały sfinansowane w ramach projektu modelowego promującego wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych przez Stadtwerke Karlsruhe. Ponieważ szkoły nie mają dostępu do odpowiednich środków publicznych, wymagane kwoty musiały być zebrane przez nauczycieli, uczniów i rodziców. Zakłady mogły z dostępnych środków sfinansować instalacje fotowoltaiczne, jednak pewien udział finansowy ze strony szkół był konieczny, szczególnie biorąc pod uwagę motto „podniesienie świadomości przez działanie”. Proponowane pomysły dotyczą rozwiązań od skonstruowania wyposażonego w miernik roweru generującego energię dla żarówek, do wytypowania w klasach uczniów zarządzających holdingami powołanymi do wspierania wykorzystania słonecznej energii. Holdingi te rozprawdzały udziały o nazwie „promień słońca”, a „dywidendy” były wypłacane do kas klasowych. Każdy uczeń mógł nabyć udział w cenie 2,50 €. Im więcej energii wytworzyła dana instalacja fotowoltaiczna, tym większy zysk dla szkolnych udziałowców.

### „Słoneczny dach Karlsruhe”

W marcu 1998 r. zakłady Stadtwerke Karlsruhe zaprosiły osoby prywatne do współpracy w tworzeniu elektrowni fotowoltaicznej przez nabycie udziałów w projekcie „Słoneczny dach Karlsruhe”. Jesienią 1999 r., po alokowaniu prawie wszystkich 200 udziałów w pierwszej fazie budowy, Stadtwerke Karlsruhe zdecydowały się przeznaczyć pozostałą część powierzchni dachu swojego budynku administracji na potrzeby wytwarzania „słonecznej” energii. Od lipca 2000 r. 426 modułów fotowoltaicznych, o łącznej powierzchni 380 m<sup>2</sup>, pozyskuje promieniowanie słoneczne wytwarzając energię o mocy 40 kW. Roczna produkcja instalacji wynosi około 36 MWh.

Zainteresowane osoby prywatne oraz firmy mogą stać się udziałowcami elektrowni przez zakup jednego lub kilku 100 watowych udziałów w cenie 650 € za akcję. Taka wspólna elektrownia posiada szereg zalet – np. udziałowcy nie ponoszą żadnych kosztów funkcjonowania czy prac naprawczo-konserwacyjnych, które pokrywają Stadtwerke Karlsruhe. Jednocześnie udziałowcy mogą odnosić większe korzyści z dużej instalacji, która jest znacznie bardziej efektywna niż wiele małych systemów. Udział zachowuje ważność przez 20 lat i okres ten może być przedłużany. Udziałowcy otrzymują wypłaty za ilość wygenerowanej energii elektrycznej według zasady proporcjonalności. Zgodnie z Niemiecką Prawem Wspierania Energii Odnawialnych (EEG) jest to kwota 0,50 €/kWh – około 50 € rocznie – za każdą akcję. Wynikająca stąd suma jest odejmowana od rocznego rozliczenia za energię.

Ponieważ „Słoneczny dach Karlsruhe” jest niemal niewidoczny od strony ulicy, w wielu miejscach umieszczono punkty informacyjne o instalacji i generowanej energii. Wykorzystuje się w tym celu różne formy medialne:

- komputer PC w centrum obsługi klienta przy ulicy Keiserstrasse;
- komputer PC i tablice informacyjne w hallu budynku zakładów;
- wyświetlacz cyfrowy zamontowany na słupie przed budynkiem biura;
- dachowy wyświetlacz odczytów analogowych;



## OCENA PROJEKTU I PERSPEKTYWY ROZWOJU

Przykład Karlsruhe sugestywnie ukazuje, w jak rozmaitych formach możliwe jest lokalne promowanie systemów fotowoltaicznych oraz integrowanie tej technologii z szeroko zakrojonym programem ochrony klimatu i zasobów energetycznych. Jedną z zastosowanych form jest także efektowna i szczegółowa prezentacja internetowa. Na bieżąco można otrzymywać dane na temat energii wytwarzanej w obu dużych instalacjach fotowoltaicznych w Karlsruhe.

Elektrownia w ZMK – zaprezentowana w internecie także w języku angielskim – jak dotąd spełniła niemal wszystkie oczekiwania. W roku 1998, pierwszym pełnym roku funkcjonowania, wytworzona przez nią energia wyniosła około 85 MWh, co jest nieznacznie mniej niż docelowa wartość 90 MWh/rok. W roku 1999 wielkość ta została nawet nieco przekroczona dzięki wytworzeniu 91 MWh. Bezpośrednie zasilanie energią elektryczną o stałym napięciu sieci tramwajowej okazało się być rozwiązaniem technicznie wykonalnym i ekonomicznie efektywnym. Alternatywny system zasilania sieci prądem zmiennym kosztowałby, według obliczeń, o ponad 15% więcej i dawałby o 10% mniej energii. Dokładna analiza kosztów przeprowadzona na zakończenie projektu wykazała, że koszt kolejnych instalacji może być obniżony o niemal 25%. Projekt spotkał się z dużym zainteresowaniem, zarówno w Niemczech, jak i za granicą i już dał początek czterem kolejnym podobnym projektom w samych Niemczech.

Podsumowując, obie instalacje, ZMK i „słoneczny dach”, w porównaniu do generowania energii przez spalanie paliw kopalnych, zapobiegają rocznie emisji około 130 ton CO<sub>2</sub>.

## WIĘCEJ INFORMACJI

Stadtwerke Karlsruhe  
Daxlander Str. 72  
Tel.: +49 721 599-0  
E-mail: [postbox@stadtwerke-karlsruhe.de](mailto:postbox@stadtwerke-karlsruhe.de)

Referat Öffentlichkeitsarbeit  
D-76121 Karlsruhe  
Fax: +49 721 599-896  
[www.stadtwerke-karlsruhe.de/solar.htm](http://www.stadtwerke-karlsruhe.de/solar.htm)

Opracowanie to zostało wykonane przez Energie-Cités przy współpracy miejskich zakładów energetycznych w Karlsruhe, *Stadtwerke Karlsruhe*. Środki finansowe pozyskano z Komisji Europejskiej, Program ALTENER DG Transport i Energia oraz z Francuskiej Agencji Energii ADEME.

Polska edycja została wykonana przez Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités” i dofinansowana przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach oraz Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie.

