

WACŁAW ORLEWSKI\*, ANDRZEJ SIWEK\*\*

**MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH  
ŹRÓDEŁ ENERGII W ŚRODOWISKU MIEJSKIM  
NA PRZYKŁADZIE KRAKOWA****OPPORTUNITIES OF USING RENEWABLE ENERGY  
SOURCES IN URBAN ENVIRONMENT – AN EXAMPLE  
OF KRAKÓW****Streszczenie**

Artykuł przedstawia zagadnienia wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Krakowie i okolicach. Omówiono akty prawne warunkujące jej wykorzystanie. Dokonano oceny możliwości zastosowania energii: słonecznej, biomasy, biogazu, wód geotermalnych i niskotemperaturowych oraz energii rzek w warunkach miejskich. Przedstawiono przykładowe zastosowania i zaproponowano optymalne rozwiązania.

*Słowa kluczowe: miasto, rozwój zrównoważony*

**Abstract**

This paper presents the problem of using renewable energy sources in Kraków and its environs. The relevant legal acts are discussed. The use of solar energy, biomass, biogas, geothermal and low temperature waters as well as river hydroelectric power in urban environment is assessed. Some examples of application and optimal solutions are presented.

*Keywords: city, sustainable development*

\* Dr inż. Wacław Orlewski, Katedra Maszyn Elektrycznych, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

\*\* Dr inż. Andrzej Siwek, Katedra Elektroenergetyki, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

## 1. Wstęp

Podstawowe akty prawne dotyczące wykorzystania źródeł odnawialnych ujęte są w Konstytucji RP (art. 5, 74) oraz w Ustawie Prawo ochrony środowiska [10]. W dokumentach tych znajdują się zapisy zobowiązujące władze państwowe kierujące się zasadą zrównoważonego rozwoju do zapewnienia odpowiednich warunków życia obywateli, zapewniając ochronę środowiska. Właściwa ochrona środowiska w zakresie energetycznym sprowadza się do takiego użytkowania zasobów energii, aby nie powodowały one degradacji środowiska. W tym aspekcie ważne miejsce wśród zasobów zajmują odnawialne źródła energii – OZE.

Wśród aktów prawnych dotyczących OZE jest Ustawa Prawo energetyczne z późniejszymi zmianami [9], Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej [3] oraz II Polityka Ekologiczna Państwa [4].

W znowelizowanej Ustawie Prawo energetyczne art. 3 poz. 20 (lipiec 2002 r.) określono odnawialne źródła energii jako źródła wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, wody, promieniowania słonecznego; ciepło niskotemperaturowe wody i źródeł geotermalnych, energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego oczyszczalni ścieków oraz z rozkładu części roślinnych i zwierzęcych.

Według art. 18 Ustawy Prawo energetyczne gmina jest zobowiązana na swoim terenie do planowania i organizacji zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe.

Artykuł 16 nakazuje, aby przedsięwzięcia, między innymi w zakresie modernizacji, rozbudowy albo budowy nowych źródeł energii, w tym OZE, były uwzględniane w planach zagospodarowania przestrzennego gmin.

Dokument Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej [3] wyznacza cele ilościowe udziału energii ze źródeł odnawialnych w 2010 r. na poziomie 7,5 %, a w perspektywie 2020 r. w wysokości 14 % w bilansie paliwowo-energetycznym Polski.

## 2. Ocena możliwości wykorzystania OZE

Kraków i jego okolice o wyjątkowych walorach środowiska kulturowego i przyrodniczego oraz turystycznego, posiadający unikatowe zespoły zabytkowe, wymagają szczególnej ochrony środowiska również ze strony energetycznej.

Energetyka klasyczna łącznie z komunikacją emitują najwięcej zanieczyszczeń do otoczenia i jednym ze sposobów zmniejszenia tej emisji jest wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w lokalnym bilansie energetycznym.

Wprowadzenie nowych źródeł energii wymaga oceny lokalnych zasobów i stanu ich wykorzystania. Na tej podstawie można sporządzić analizę możliwości wprowadzenia OZE oraz Studium uwarunkowań i kierunków rozwoju zagospodarowania przestrzennego infrastruktury energetyki OZE w Krakowie [5].

Efekty uzyskane w „Studium OZE” powinny być uwzględnione w *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Krakowa*.

## 3. Stan energetyki OZE w Krakowie

Obecnie uzyskiwana energia elektryczna ze źródeł odnawialnych pochodzi głównie z przetwarzania energii wody Wisły oraz biogazu z wysypiska komunalnego i oczyszczalni ścieków. Ciepło użyteczne uzyskuje się z biogazu oczyszczalni ścieków, kolektorów słonecznych i pomp ciepłych. Znaczne są zasoby wód geotermalnych w Krakowie i jego regionie, nie wykorzystywane dotychczas. Natomiast brakuje warunków dla energetyki wiatrowej [5].

### 3.1. Energetyka słoneczna

Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego w Krakowie sprowadza się do instalacji kolektorów słonecznych do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). W Krakowie jest ona produkowana w gospodarstwach domowych i instytucjach użyteczności publicznej w podgrzewaczach na gaz ziemny, które emitują szkodliwe substancje gazowe ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) oraz gorące spaliny. Wzorem miast UE, będzie trzeba zrobić promocyjną akcję ekologiczną – 1000 dachów z kolektorami słonecznymi do przygotowania c.w.u i wspomagania etażowego ogrzewania gazowego w centrum Starego Miasta.

Drugim sposobem do wykorzystania energii promieniowania słonecznego w naszych warunkach są systemy pasywnego (biernego) ogrzewania pomieszczeń, które poprawiają bilans cieplny budynku i przyczyniają się do zmniejszenia zużycia konwencjonalnych paliw [1]. Zastosowanie systemów pasywnych wymaga odpowiedniego układu strukturalno-materiałowego budynku. Najkorzystniejsze zastosowanie tych systemów uzyskuje się w małych budynkach, szczególnie w zabudowie rozproszonej [2].

### 3.2. Wykorzystanie energii biomasy, biogazu

Biomasa jest największym potencjalnym źródłem energii w Polsce. Jest to substancja organiczna powstała w procesie akumulowania energii słonecznej. Cechą biomasy i biogazu (powstającego z fermentacji biomasy) jest minimalna emisja  $\text{SO}_2$  oraz bilans  $\text{CO}_2$  równy zeru ze względu na pochłanianie go w procesie odnawiania biomasy (fotosyntezy).

Energię z biomasy można uzyskać ze spalania, gazyfikacji, fermentacji i przetworzenia olejów roślinnych na paliwo.

W Krakowie, ze względu na konieczność utylizacji odpadów komunalnych, zagospodarowano wysypisko miejskie oraz osad oczyszczalni ścieków. Na wysypisku w Baryczy zainstalowane są 3 bloki energetyczne na gaz wysypiskowy produkujące tylko energię elektryczną o mocy 870 kW<sub>e</sub> (2x250+370).

W oczyszczalni ścieków Kujawy biogaz uzyskiwany w wyniku fermentacji osadu podawany jest na 3 bloki energetyczne produkujące energię elektryczną i ciepło w skojarzeniu. Łączna wytwórcza moc to 519 kW energii elektrycznej i 867 kW energii cieplnej.

Miasto generuje dużą ilość odpadów o różnorodnym charakterze, stwarzając potrzebę budowy instalacji do ich neutralizacji. Najkorzystniejsza jest utylizacja odpadów z energetycznym przetworzeniem biomasy. Korzystne jest wykorzystanie biogazu z upraw energetycznych celowych łącznie z odpadami organicznymi w specjalnie do tego celu wybudowanej instalacji, np. przy wysypisku [8].

### 3.3. Energetyka wodna

Wykorzystanie energii wody sprowadziło się w Krakowie do zainstalowania elektrowni na stopniach wodnych Wisły. W granicach administracyjnych Krakowa powstała kaskada trzech stopni wodnych. Licząc z biegiem Wisły, powstały stopnie wodne Kościuszkowo, Dąbie i Przewóz, a przy nich małe elektrownie wodne (MEW) o mocy 3 MW każda [6].

Elektrownia wodna Przewóz zlokalizowana jest przy stopniu wodnym (zaporze) w dzielnicy Nowa Huta, natomiast elektrownia wodna Dąbie jest przy zaporze stopnia wodnego Dąbie na Wiśle w Krakowie. Właścicielem i użytkownikiem obu elektrowni jest Zakład Energetyczny Kraków Spółki Akcyjnej ENION, natomiast zapory, urządzenia do zrzutu wody jałowej i zbiorniki znajdują się w rękach Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie. Stopień wodny Przewóz powstał na potrzeby gospodarki wodno-energetycznej Kombinatu Hutniczego w roku 1954, a stopień wodny Dąbie dla poprawy gospodarki wodno-energetycznej miasta. Elektrownia Dąbie istnieje od 1961 r. i mimo późniejszego okresu jej budowy, układ i zespoły są podobne do rozwiązań Elektrowni Przewóz. Pracuje ona w kaska-

dzie z elektrowniami Przewóz oraz Kościuszko i usytuowana jest na 81 km biegu Wisły. Zapora Dąbie jest betonowa, z elektrownią w jej lewobrzeżnej sekcji. Korona zapory zaprojektowana jest jako most i służy komunikacji przez Wisłę. Doprowadzenie wody do galerii wlotowej turbin odbywa się kanałem wlotowym sekcji zapory zaopatrzoną w kraty oczyszczające. Obie elektrownie pracują jako zespoły przyzaporowe i niskospadowe: przepływowo.

Elektrownia przy Stopniu Wodnym Kościuszko usytuowana jest na 66 km biegu Wisły, zbudowana jako podziemna przy tym stopniu i uruchomiona 30 kwietnia 2003 roku. Pracuje ona przepływowo z mocą 3 MW. Elektrownia wodna jest własnością Fundacji Księdza Siemaszki i zbudowana została dzięki wsparciu finansowemu Josephiny Gebert, prezes Fundacji PRAXEDIS ze Szwajcarii. Stopień wodny jest w dyspozycji Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie. Celem inwestycji jest zdobywanie środków na utrzymanie ośrodków edukacyjno-wychowawczych fundacji.

Budowla hydrotechniczna tej elektrowni obejmuje kanał derywacyjny otwartego typu o konstrukcji żelbetonowej i długości 108 metrów. Budynek elektrowni tworzy monolityczną i szczelną konstrukcję, której górna część stropu jest na poziomie terenu międzywałowego. W wypadku powodzi woda przepływa ponad budynkiem elektrowni. Funkcjonalnie z tą elektrownią są związane: przepławka dla ryb oraz tor kajakarstwa górskiego.

Mała energetyka wodna w Krakowie i jego okolicach została zlikwidowana w latach 50. XX w. Z przeprowadzonej w 1982 roku inwentaryzacji istniejących urządzeń piętrzących wodę stwierdzono, że jest ich w powiecie krakowskim 67, w tym 4 obiekty w samej Gminie Kraków możliwe do zainstalowania MEW [5]. Takie możliwości zainstalowania MEW istnieją na Szreniawie, Rabie, Dłubni, Prądniku (Białucha), Rudawie i ich dopływów. Z wprowadzenia MEW uzyska się efekty w postaci: malej retencji, utrzymania sprawności hydrotechnicznej budowli, należytej czystości rzeki, miejsc pracy i terenów rekreacyjnych.

### 3.4. Energia geotermalna i ciepło niskotemperaturowe

Z map temperatur na rzędnych sporządzonych przez prof. J. Sokołowskiego [7] wynika, że pod miastem Kraków występują wody geotermalne: na rzędnej 500–1000 m o temp. od 30°C do 55°C, na rzędnej 2000–4000 m o temp. 70–125°C.

Z powyższych danych wynika, że Kraków ma bardzo interesujące warunki do rozwoju energetyki geotermalnej. Dotychczas dobrze poznana jest budowa geologiczna przypowierzchniowa, stan rozpoznania głębszych strefy jest niewystarczający z uwagi na brak w obrębie Krakowa głębokiego odwiertu geologicznego, minimum 4000 m.

Najskuteczniejsze wykorzystanie ciepła niskotemperaturowego odpadowego, jak i z OZE można osiągnąć przy użyciu pomp ciepła.

W warunkach krakowskich można zastosować pompy pobierające ciepło z:

- poziomego gruntowego wymiennika ciepła,
- ujęcia wody systemem dwóch studni, idealnie nadającym się do wykorzystania wody geotermalnej już od temp. 15°C,
- ścieków i oczyszczalni, które są najtańszymi dolnymi źródłami ciepła.

W Krakowie i jego regionie pompy ciepła powinny znaleźć zastosowanie do ogrzewania obiektów, które nie korzystają z miejskiej sieci ciepłowniczej.

#### 4. Wnioski

- Wykorzystanie zasobów wód geotermalnych tylko w niewielkiej ich części będzie stanowić dominującą pozycję bilansową OZE w Krakowie i jego rejonie.
- Drugą pozycją bilansową energii odnawialnej w Krakowie może być biomasa, ale należy wykonać analizę zasobów i sposobów jej przetwarzania.
- Kolektory słoneczne wykorzystujące energię słoneczną do podgrzewania wody powinny mieć zastosowanie w rejonach miasta, gdzie występują największe skażenia powietrza.
- Propozycja inicjatywy i współdziałania Gminy Kraków z sąsiadującą gminą nad programem gminy ekologicznej zasilanej wyłącznie energią z odnawialnych źródeł, np. opracowanie wniosku do UE na Centrum Rekreacyjno-Turystyczne Dłubnia zasilane w całości przez OZE.

#### 1. Introduction

The principal legal acts related to the use of renewable energy sources are specified in the Constitution of The Republic of Poland (Art. 5, 74) and the Environmental Protection Act [10]. These documents oblige the sustainable development oriented authorities oriented to provide appropriate living conditions by ensuring environmental protection. In the sense of power use the proper environmental protection is reduced to use of power resources without environmental degradation. The renewable energy sources (RES) play an important role.

Among legal acts related to RES there are "Power Act" with later amendments [9], Strategy for developing renewable power engineering [3] and the Second National Environmental Policy [4].

In novelized Energy Law Act, Art. 3 item 20 (July 2002) the renewable energy sources are defined as sources that use energy of wind, water, solar radiation, low-temperature water and geothermal sources, biomass, biogas from water treatment plants and plant and animal decomposition.

According to Energy Law, Art. 18 local communities are obliged to plan and provide heat, electricity and gas fuels.

Art. 16 orders that RES should be considered in local land development plans as well as modernization and/or construction of new energy sources.

The Strategy for developing renewable power engineering [3] indicates qualitative objectives for share of renewable energy sources in 2010 at the level of 7,5 %, and 14% by 2020 in the Poland's energy balance.

#### 2. An assessment of the RES use

Kraków and its environs have an unique cultural, natural and tourist valours having unusual, historical resources that require special environmental protection, from the energy side, too.

Conventional power engineering and transportation are main pollution emitters into the environment and increase of renewable energy sources in local power balance is one of the methods of reducing such emission.

The introduction of new energy sources requires that local resources and its state are to be estimated. This can be used a basis for performing RES feasibility study and preparing the Kraków RES conditioning and land development study [5].

The effects of "RES Study" should be taken into account in the Kraków land development conditioning and directions.

### 3. Present state of the RES engineering in Kraków

At present electricity from renewable sources is derived primarily from reprocessed water energy of the Wisła River and biogas generated at the municipal landfill and the sewage treatment plant. Heat is also derived from biogas of the sewage treatment plant, solar collectors and heat pumps. There are significant resources of geothermal waters in Kraków and its environs that have not been used yet. There are no conditions for wind power plants [5].

#### 3.1. Solar energy

In Kraków the use of solar energy consists in installing solar collectors for heating domestic water. Such water is produced in houses and public buildings by using water heater fueled with natural gas that emit hazardous gas substances ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,) and hot waste gases. Based on experience gathered in other cities in the EU, it is justifiable to conduct a promotional ecological action – 1000 roofs with solar collectors to heat domestic water and to support gas heating system within the Old Town (City Center).

Another way of solar energy using applicable in our conditions are building passive heating systems that improve building heat balance and reduce the use of conventional fuels [1]. The use of passive systems require an appropriate structural-material structure of the building. These systems bring the best effects in small buildings, especially in scattered housing [2].

#### 3.2. Biomass and biogas

Biomass is the largest potential energy source in Poland. It is an organic substance generated by accumulating solar energy. The feature of biomass and biogas (derived from fermentation of biomass) is minimal  $\text{SO}_2$  emission and  $\text{CO}_2$  balance equal to zero due to absorption in the fermentation process (photosynthesis).

Energy from biomass can be derived by combustion, gasification and vegetable oil reprocessing into fuel.

In Kraków, due to necessity of municipal waste usage, the municipal landfill and sludge from the sewage treatment plant is used. There are three power generating blocks in the Barycza landfill that generate electricity of 870 kW<sub>e</sub> (2x250 +370) in power.

In the Kujawy sewage treatment plant, biogas is derived from sludge fermentation and transmitted to 3 power blocks that generate both electricity and heat. The total power reaches 519 kW (electricity) and 867 kW (heat energy).

The city generates a vast amount of various wastes, thus requiring neutralization installations. The most favorable is waste utilization combined with biomass reprocessing. It is also purposeful to use biogas from destined energy crops combined with organic wastes in a special plant built for example at the landfill [8].



### 3.3. Hydro-power engineering

In Kraków the use of water energy is reduced to installing hydro-power plants in fall of the Wisła River. A cascade of three falls was built within the Kraków borders. There are, according to direction of flow, the Kościuszko, Dąbie and Przewóz, and small hydro-power plants (SHP) of 3 MW each [6].

The Przewóz hydro-power plant is situated at the river fall (dam) in the Nowa Huta district, while the Dąbie hydro-power plant at the Dąbie water fall in Kraków. Both power plants are used and owned by the Zakład Energetyczny Kraków Spółka Akcyjna ENION (the joint-stock company ENION), while dams, idle water discharge devices and reservoirs belong to the Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie (Regional Water Management in Kraków). The Przewóz water fall was built for power purposes in 1954 for the needs of the Metallurgical Plant, while the Dąbie fall was built for the city power supply purposes. The Elektrownia Dąbie (Dąbie Power Plant) exists from 1961 and despite of later construction, it resembles the Elektrownia Przewóz (Przewóz Power Plant). It works in combination of stepped falls at Przewóz and Kościuszko and is situated at 81 km of the Wisła River. The Dąbie concrete dam along with the power plant is located on left-side bank. The dam crown is designed as a bridge and used for transportation through the Wisła River. Water is fed into the turbine inlet gallery through the inlet channel equipped with cleaning grates. Both power plants are working as a river low-fall dam hydro-plants.

The power plant at the Kościuszko fall is located at 66 km of the Wisła River, was built as an underground facility and opened on 30.04.2003. This is a typical river hydro-plant of 3 MW in power. This power plant is owned by the Fundacja Księdza Siemaszki (Siemaszko Priest Foundation) and built by financial support from Mrs. Josephina Gebert, the president of the Fundacja PRAXEDIS (PRAXEDIS Foundation) of Switzerland. The water fall is at disposal of the Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej (Regional Water Management) in Kraków. The aim of this investment is to gather funds for keeping the foundation education centers.

The hydro-power plant includes a derivation open reinforced-concrete channel of 108 m in length. The power plant building is of monolithic and tight design of the upper floor located at the height of the dams. In the case of flood water flows above the power plant building. There are also a fish way and the mountain kayaking way at the hydro-plant.

The small hydro-power plants in Kraków and its environs was built in the 1950s. In 1982 an inventory of water damming devices has indicated 67 facilities, including 4 facilities in Kraków enabling SHP installations [5]. The SHP plants can be installed also on the following rivers: Szreniawa, Raba, Dłubnia, Prądnik (Białucha), Rudawa and its tributaries. The implementation of SHP results in low retention, keeping hydro-plant efficiency, keeping river purity and creation of recreation places and jobs.

### 3.4. Geothermal water and low temperature heat

The temperature maps created by Prof. J. Sokołowski [7] indicate that there are geothermal water at the depth of 500–1000 m and at temperature from 30°C to 55°C under the city of Kraków. At the depth of 2000–4000 m water temperature reaches 70–125°C.

Thus, Kraków has clearly very interesting conditions for developing geothermal engineering. So far, only subsurface geological structure is known, while recognition of deeper layers is insufficient due a lack of deep geological bore-hole made in Kraków at the minimal depth of 4000 m.

The most effective use of low-temperature waste heat and RCES can be achieved by using heat pumps.

In Kraków the pumps deriving heat from the following sources can be proposed:

- from a ground horizontal heat exchanger,
- from a two-well system, ideal for geothermal water of temperature even 15°C,
- from sewage and sewage treatment plants (the cheapest energy source).

The heat pumps should be used for heating purposes in all buildings in Kraków unconnected to the district heating.

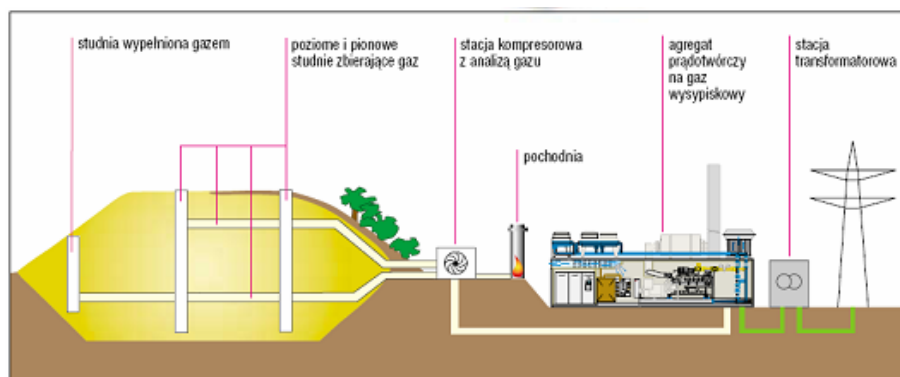
#### 4. Conclusions

- The use of geothermal waters will be only a small part of the RES balance in Kraków and its environs.
- The next item in the Kraków can be biomass, but an analysis of resources and processing methods shall be given.
- Solar collectors using solar energy to heat water shall be used in such city areas where the highest air pollution is recorded.
- An initiative made by the Community of Kraków to surrounding communities to develop a program of local ecological community fueled from renewable sources only. For example, prepare a request to the EU entitled "Dłubnia Recreation and Tourist Center" powered from RES only.

#### Bibliografia – Bibliography

- [1] Ustawa Prawo ochrony środowiska (DzU 2001, nr 62).
- [2] Ustawa Prawo energetyczne (DzU 1997, nr 54).
- [3] Ministerstwo Ochrony Środowiska – Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej, <http://www.mos.gov.pl/materiały-opracowania/energetyka>.
- [4] Ministerstwo Ochrony Środowiska – II Polityka Ekologiczna Państwa, <http://www.mos.gov.pl/materiały-opracowania/pol-ekoII>.
- [5] *Odnawialne źródła energii w Krakowie i jego regionie*, Siwek A. (red.), oprac. SEP O. Krakowski – Sekcja Energetyczna, Kraków 25.09.2003, mpis.
- [6] Gogół W., *Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych*, Ekspertyza PAN, Wyd. Politechnika Warszawska, Warszawa 1993.
- [7] Lewandowski W.M., *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*, WNT, Warszawa 2002.
- [8] Sympozjum: „Energia odnawialna – wykorzystanie biomasy”, Kraków 19.11. 2003 r., Wyd. Wydział EAIiE – AGH, Kraków 2003.
- [9] Orlewska W., Siwek A., *Krakowskie elektrownie wodne*, XI Konferencja Nauk Techn., Ogólnopolskie Forum Odnawialnych Źródeł Energii, Warszawa 2005.
- [10] Sokołowski J., *Warunki występowania wód geotermalnych w Krakowie i Małopolsce*, Wyd. Polgeotermia, Kraków 2002.





- II. 1. Elektrownia na gaz wysypiskowy (dzięki uprzejmości Centrum Elektroniki Stosowanej CES Sp. z o.o)
- III. 1. Municipal waste gas power plant (credits to Centrum Elektroniki Stosowanej CES, Ltd.)
- II. 2. Elektrownia wodna na stopniu wodnym „Kościuszko”, rzeka Wisła w Krakowie
- III. 2. Hydro-power plant, „Kościuszko” fall, Wisła River, Kraków