

**POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI I ENERGIA**

**WYKORZYSTANIE ENERGII WÓD KOPALNIANYCH  
DLA ZASPOKOJENIA POTRZEB CIEPLNYCH ŁAŻNI GÓRNICZEJ  
W KWK PIAST  
*Studium Celowości***

**ZAŁĄCZNIK NR 4**

**Spis treści:**

1. Wnioski z przeprowadzonej analizy – podsumowanie .....	3
2. Definicja projektu.....	3
3. Charakterystyka projektu .....	4
4. Analiza techniczna i technologiczna .....	4
5. Analiza ekonomiczna .....	10
6. Analiza oddziaływania na środowisko .....	12
7. Podsumowanie .....	13

## **1. Wnioski z przeprowadzonej analizy – podsumowanie**

Wykorzystanie energii geotermalnej, której nośnikiem są wody kopalniane pochodzące z odwadniania wyrobisk i chodników Kopalni Węgla Kamiennego PIAST jest przedsięwzięciem, którego opłacalność realizacji potwierdzają wartości otrzymanych wskaźników techniczno-ekonomicznych.

Przeprowadzona analiza technicznej możliwości wykorzystania wód kopalnianych do podgrzewania ciepłej wody użytkowej na potrzeby łazni górniczej potwierdza techniczną możliwość realizacji inwestycji.

Analizowane rozwiązania nie pociągają za sobą wysokich nakładów inwestycyjnych. W wariantach 1 wynoszą one ok. 90, a w wariantach 2 i 3 ok. 770 tys. zł.

W wyniku wprowadzenia rozważanych rozwiązań spodziewać się należy rocznej redukcji kosztów wytwarzania energii i/lub zakupu ciepłej rzędu 30 tys. zł. Co przy założonym schemacie finansowania inwestycji (75% dotacji, 15% kredyt, 10 % środki własne) daje prosty czas zwrotu nakładów inwestycyjnych poniesionych przez Inwestora: 1,5 roku (dla wariantu 1), 8,6 lat (dla wariantu 3), 10 lat dla wariantu 2.

Dyskontowe wskaźniki określające opłacalność realizacji inwestycji osiągają bardzo dobre wartości, informując o opłacalności realizacji wszystkich z analizowanych wariantów. Przy czym najlepszych efektów w postaci zwrotu zainwestowanego kapitału spodziewać się należy w przypadku wariantu 1. Wszystkie analizowane warianty cechuje redukcja jednostkowej ceny wytwarzania energii ciepłej w stosunku do stanu aktualnego (24,04 zł/GJ) o ok. 2,5 zł/GJ.

Realizacja analizowanych przedsięwzięć przyczyni się również do poprawy środowiska naturalnego redukując emisję zanieczyszczeń i konserwując zasoby paliw kopalnych.

Ostatecznie, mając na uwadze powyższe, za najciekawsze do realizacji uznać należy warianty 1 (wykorzystanie energii wód kopalnianych do wstępnego podgrzewu wody wodociągowej) i 3 (dwustopniowe podgrzewanie wody wodociągowej przez wymiennik przeponowy i pompę ciepła).

## **2. Definicja projektu**

Przedmiotem projektu jest wykorzystanie energii ciepłej zawartej w wodach kopalnianych wypompowywanych na powierzchnię w trakcie prowadzenia procesu odwadniania Kopalni Węgla Kamiennego PIAST.

Realizacja zamierzeń projektowych przyczyni się do poprawy stanu środowiska naturalnego oraz redukcji konsumpcji pierwotnych nośników energii.

### **3. Charakterystyka projektu**

Projekt przewiduje wykorzystanie energii cieplnej zawartej w wodach kopalnianych wypompowywanych na powierzchnię w trakcie prowadzenia procesu odwadniania Kopalni Węgla Kamiennego PIAST. Przewiduje się wykorzystanie wody kopalnianej pompowanej głównym rurociągiem odwadniania o średnicy 600 mm. Minimalny przepływ wody dołowej w głównym rurociągu odwadniania wynosi 450 m<sup>3</sup>/h, przepływ średnio dobowy natomiast 810 m<sup>3</sup>/h. Temperatura wody w rurociągu wynosi 19°C. Oznacza to że potencjalna moc rozwiązania, przy założeniu schłodzenia wody do temperatury 5°C waha się w granicach od 7,3 MW do 13,2 MW.

Średni skład chemiczny wody jest następujący: chlorki 45,5 g/dm<sup>3</sup>, siarczany 2,4 g/dm<sup>3</sup>, zawiesina 30 mg/dm<sup>3</sup>, pozostałe 67 g/dm<sup>3</sup>. Sumarycznie daje to mineralizację ok. 115 g/dm<sup>3</sup>. Woda kopalniana ma praktycznie obojętny odczyn pH, pH=7,1.

Ciepło którego nośnikiem jest przedmiotowa woda kopalniana zamierza się wykorzystać do przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU) w łaźni górniczej. W chwili obecnej CWU na potrzeby łaźni przygotowuje się w systemie objętościowym składającym się z sześciu zbiorników o pojemności 21 m<sup>3</sup> każdy – co daje sumarycznie pojemność zapasu wody ciepłej 126 m<sup>3</sup>. Średnie dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową wynosi 197 m<sup>3</sup>. Szczytowe zapotrzebowanie na CWU wynosi 32 m<sup>3</sup>/h. Obecnie wymagana jest temperatura ciepłej wody użytkowej 55°C.

Energia cieplna wykorzystywana na cele przygotowania CWU pochodzi z sieci ciepłowniczej i kupowana jest po dość atrakcyjnej cenie ok. 24,04 zł/GJ. Oznacza to, że podgrzanie 1 m<sup>3</sup> wody do temperatury 55°C kosztuje ok. 10,67 zł (z czego 4,67 zł stanowi energia cieplna). Cena wody zimnej, podgrzewanej w węźle cieplnym wynosi 6 zł/m<sup>3</sup>. Wszystkie podane ceny podano jako ceny netto.

### **4. Analiza techniczna i technologiczna**

Energia zawarta w wodach kopalnianych pochodzi z ciepła generowanego w skorupie ziemskiej, a magazynowanego w górotworze oraz płynach wypełniających jego pory i szczeliny. Woda stanowi naturalny i łatwy do transportu nośnik umożliwiający transport tej energii na powierzchnię ziemi. Ze względu na to, że nie ma zapotrzebowania na ciepło w podziemnej części kopalń (wręcz przeciwnie, warunki pracy w pewnych miejscach wymuszają stosowanie urządzeń klimatyzacyjnych) jego zagospodarowanie możliwe jest dopiero na powierzchni. Zależnie od warunków geologicznych i głębokości oraz sposobu

transportu wody z części podziemnej na powierzchnię jej temperatura może być różna. Z punktu widzenia zagospodarowania energii cieplnej zawartej w wodach kopalnianych obowiązuje zasada, że korzystne jest otrzymanie na powierzchni ziemi wody o jak najwyższej temperaturze. Woda charakteryzująca się wyższą temperaturę zawiera więcej energii w jednostce objętości i konsumpcja energii elektrycznej na napęd pomp przetłaczających, w stosunku do otrzymanej ilości energii cieplnej jest niższa. Poza tym podniesienie temperatury przetłaczanej wody ma pozytywny wpływ na ograniczenie konsumpcji energii elektrycznej zużywanej przez pompy obiegowe (lepkość wody maleje wraz ze wzrostem temperatury powodując spadek oporów przepływu).

Pod względem składu chemicznego wody pochodzące z odwadniania kopalń zazwyczaj odbiegają od wymogów, jakie wino spełniać woda w instalacjach ciepłowniczych. Problemy, na jakie można natrafić w przypadku ich eksploatacji wynikać mogą z ich korozyjnego działania (korozyjność jest proporcjonalna do temperatury) lub wytrącania osadów. Problem wytrącania osadów jest ważny, ponieważ powoduje pogorszenie z czasem warunków wymiany ciepła i wzrost oporów przepływu. Występowanie omawianego zjawiska nasila ochładzanie wody w instalacji – co jak wiadomo przyczynia się do wzmożonego wytrącania osadów (rozpuszczalność substancji stałych w cieczach maleje wraz ze spadkiem temperatury).

Wykorzystanie energii cieplnej niesionej przez ciepłą wodę pochodzącą z odwadniania kopalń wymagać może zatem stosowania pośrednich wymienników ciepła (łatwiejszych do czyszczenia niż elementy innych urządzeń). Dobór wymiennika uzależniony jest od wielu parametrów i jest sprawą indywidualną dla danego rozwiązania. Generalnie panuje zasada, że w przypadku niskich temperatur i niewielkich różnic temperatury między wodą z górotworu a wodą technologiczną zaleca się stosowanie wymienników płytowych; w przypadku dużej korozyjności lub znacznego wytrącania osadów rozważyć należy wymienniki płaszczowo-rurowe (np. typu JAD).

Układy technologiczne rozpatrywanych instalacji mogą być oparte na różnych schematach. Typowym rozwiązaniem jest zastosowanie pompy ciepła (lub ich systemu), która podniesie temperaturę wody technologicznej do wymaganego poziomu (wykorzystując wodę kopalnianą jako źródło ciepła, tzw. dolne źródło ciepła). Zaletą tego rozwiązania jest możliwość ograniczenia mocy zamówionej od dystrybutora energii (tym samym ograniczenia kosztów stałych związanych z zakupem nośników energii) i prosty układ technologiczny – wadą może się okazać wysoki koszt inwestycyjny.

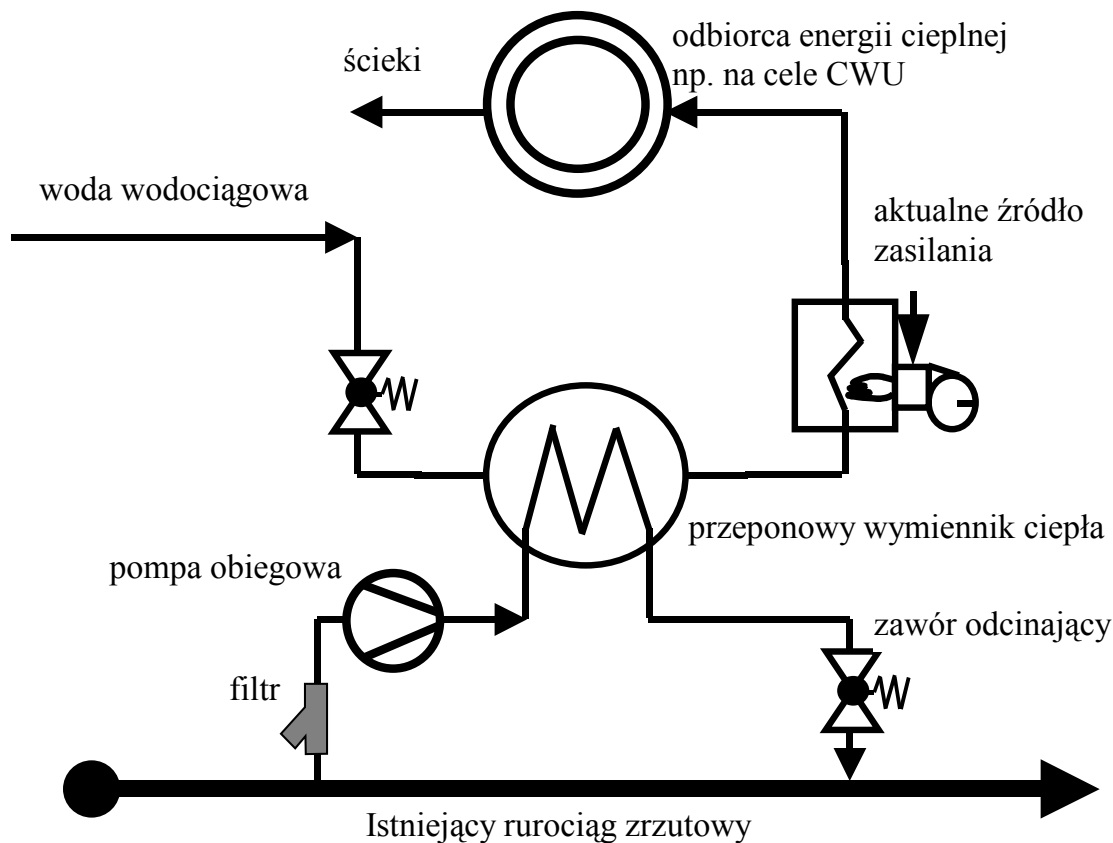
Alternatywą dla takiego rozwiązania jest schemat kaskadowego (kilkustopniowego) wykorzystania energii. Najbardziej efektywny może się on okazać w przypadku przygotowania ciepłej wody użytkowej np. dla łaźni. W układzie dwustopniowym odzyskuje się energię wód wykorzystując wymiennik na pierwszym stopniu dogrzewu, redukując w ten sposób moc pompy ciepła stosowanej na drugim stopniu kaskady. Zaletą takiego rozwiązania jest niższy koszt zakupu urządzeń i ich eksploatacji. Warunkiem możliwości jego stosowania jest zaś odpowiednio niska temperatura wlotowa podgrzewanego przez instalację medium.

Opis propozycji wykorzystania wód kopalnianych będących nośnikami energii geotermalnej zawierają analizowane warianty:

**Wariant 1** – bezpośrednie wykorzystanie wody kopalnianej do podgrzewania wstępnego ciepłej wody użytkowej.

Niniejszy wariant dotyczy wstępnego podgrzewania wody wodociągowej, którą docelowo zamierza się wykorzystać jako ciepłą wodę użytkową (CWU) w instalacji łaźni na terenie zakładu górniczego. Woda wodociągowa posiada zazwyczaj średnioroczną temperaturę rzędu 12°C. W instalacji CWU podgrzewana jest do temperatury ok. 50 - 55°C. Zastosowanie CWU użytkowej w celach kąpielowych nie wymaga stosowania temperatur powyżej 40°C. W obliczeniach aktualnej i prognozowanej konsumpcji energii na cele przygotowania CWU przyjęto niezmienną temperaturę dostawy CWU wynoszącą 55°C.

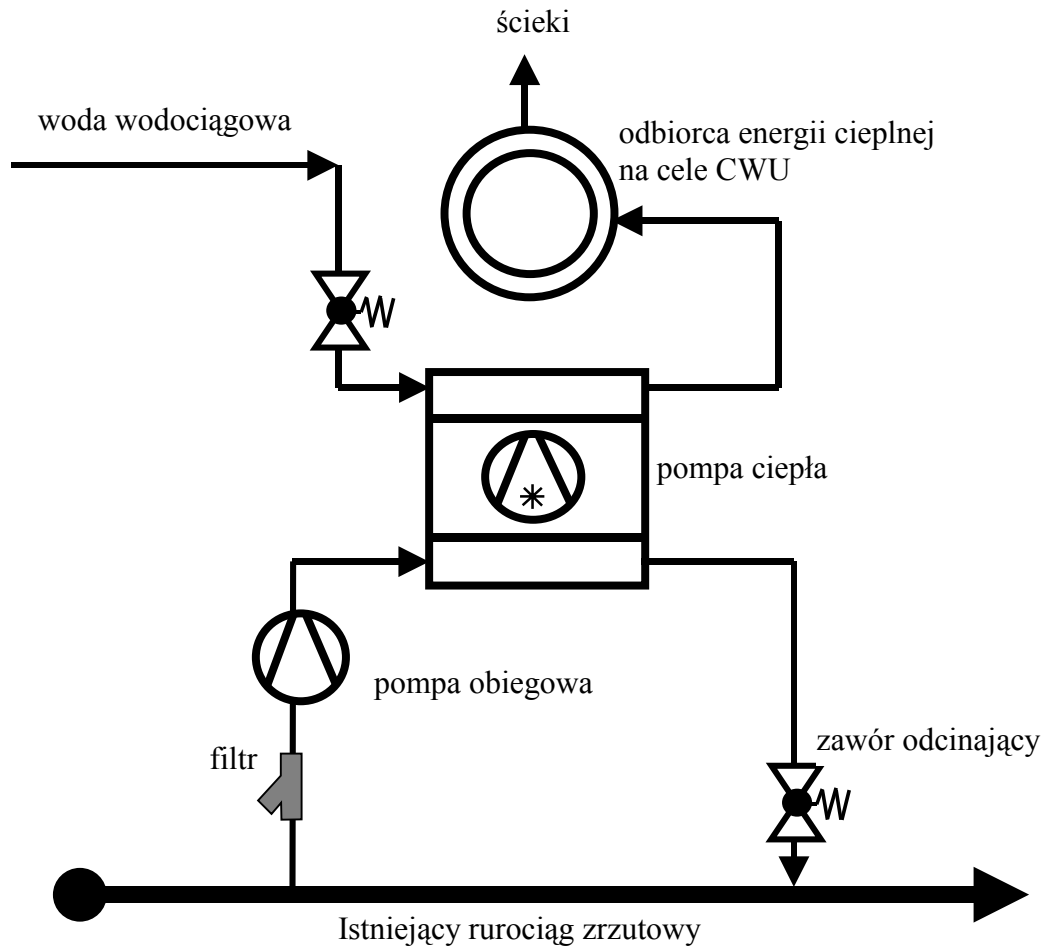
Schemat instalacji przedstawiono na rys. 1. Głównym elementem składowym instalacji jest przeponowy wymiennik ciepła. Ze względu na niewielkie różnice temperatury pomiędzy czynnikami wymieniającymi ciepło proponuje się wykorzystanie w tym celu wymiennika płytowego.



Rys. 1. Schemat jednostopniowego wykorzystania wód kopalnianych przez wymiennik pośredni

**Wariant 2** – wykorzystanie ciepła zawartego w wodzie kopalnianej do przygotowania CWU przy pomocy sprężarkowych pomp ciepła.

Wariant ten dotyczy przygotowania CWU przy pomocy instalacji sprężarkowych pompy ciepła wykorzystujących energię niesioną przez wodę kopalnianą wypompowywaną na powierzchnię. Schemat instalacji przedstawiono na rys. 2. Zasadnicza różnica pomiędzy wariantem aktualnym a poprzednim polega na całkowitej autonomii systemu od zewnętrznych źródeł zasilania w ciepło. Całe ciepło na potrzeby przygotowania CWU wytwarzane jest przez instalacje sprężarkowych pomp ciepła. Parametry temperaturowe, w jakich pracować będą sprężarkowe pompy ciepła powinny zapewnić uzyskiwanie dość wysokich wartości współczynnika efektywności energetycznej (COP) – na poziomie od 3,5 do 4. Warunkiem jest jednak odpowiednia jakość wymiennika parownika pomp ciepła, zapewniająca odporność na działanie korozyjne wody kopalnianej. Wzrost elektrycznej mocy zamówionej dla instalacji nie musi brać brana pod uwagę, ze względu na możliwość balansowania konsumpcją energii elektrycznej przez pompy odwadniania (w podziemnej części kopalni).



Rys. 2. Schemat jednostopniowego wykorzystania wód kopalnianych przez pompę ciepła

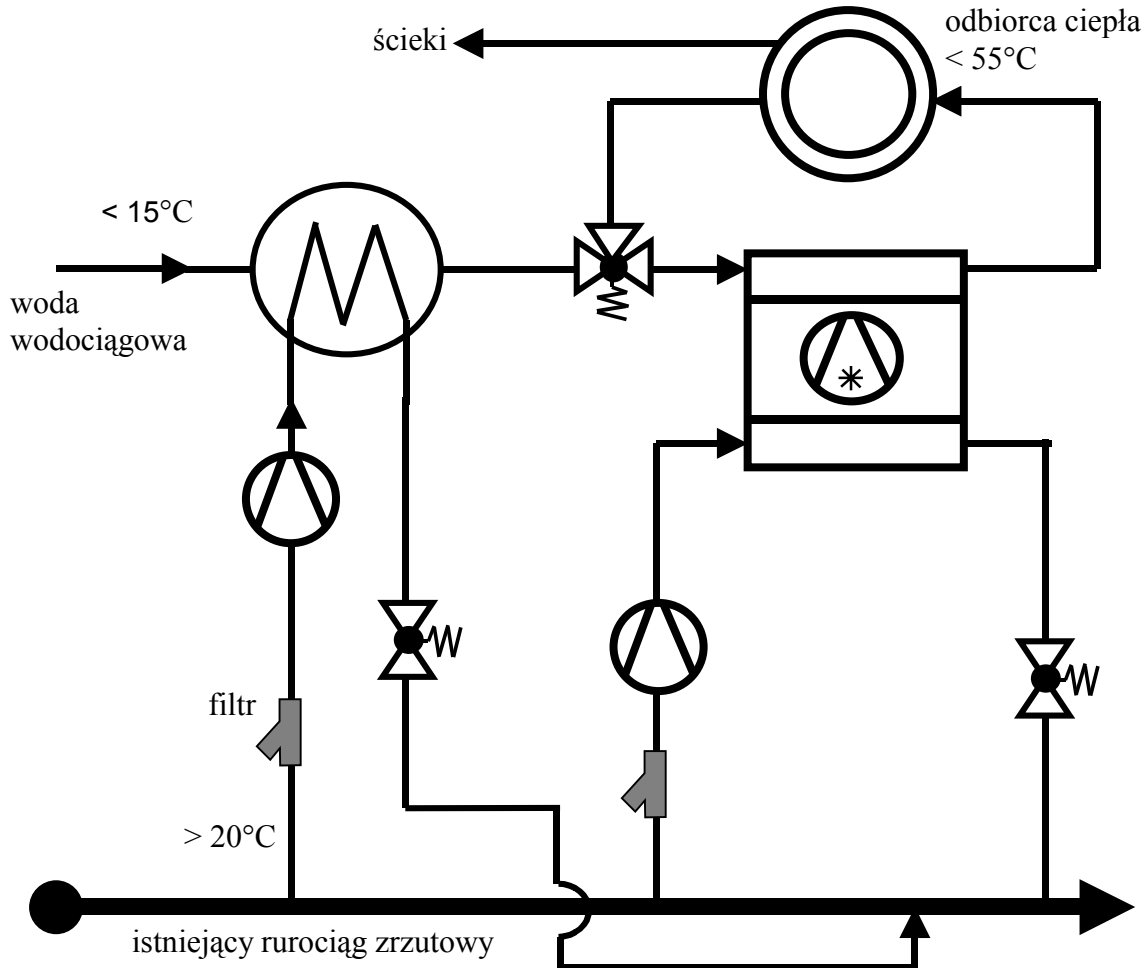
**Wariant 3** – wykorzystanie ciepła zawartego w wodzie kopalnianej do przygotowania CWU przy pomocy systemu kaskadowego - dwustopniowego: wymiennik przeponowy, sprężarkowa pompa ciepła.

Układ niniejszy jest połączeniem omawianych wcześniej wariantów 1 i 2. Jego schemat przedstawia rys. 3. Woda wodociągowa zostaje podgrzana do wymaganej temperatury 55°C, w dwóch stopniach. Pierwszy stopień stanowi bezpośrednia wymiana ciepła pomiędzy wodą kopalnianą, a wodą wodociągową w wymienniku przeponowym płytowym (jak w wariantcie 1). Następnie podgrzana woda dogrzewana jest do wymaganej temperatury przez sprężarkową pompę ciepła.

Dzięki zastosowaniu takiego układu przewiduje się osiągnięcie pewnych korzyści energetycznych i finansowych. Korzyści energetyczne polegają na podniesieniu entalpii wody wodociągowej bez konieczności zużywania jakiegokolwiek nośników energii (nie licząc energii napędowej pomp obiegowych) – co związane jest również z korzyściami



ekonomicznymi. Korzyści ekonomiczne związane są również z redukcją nakładów inwestycyjnych na moc zainstalowaną w pompie ciepła. Dodatkowo, dzięki osiągnięciu autonomii systemu, można się liczyć z oszczędnościami wynikającymi z redukcji zamówionej mocy cieplnej.



Rys. 3. Schemat dwustopniowego wykorzystania wód kopalnianych na potrzeby: przygotowania CWU w łaźni

Podstawowe techniczne parametry eksploatacyjne związane z wariantami od 1 do 3 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie podstawowych technicznych parametrów eksploatacyjnych dla rozważanych instalacji

Składnik	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Temperatura dostawy ciepłej wody użytkowej [°C]	55	55	55
Roczna produkcja energii cieplnej przez instalację [GJ/rok]	12 776	12 776	12 776
Moc cieplna rozwiązania [kW]	463	463	463
Konsumpcja energii cieplnej kupowanej z zewnątrz [TJ/rok]	11 290	0	0
Konsumpcja energii elektrycznej [MWh/rok]	8	1 154	1 126
Sprawność konwersji energii chemicznej paliw pierwotnych w energię cieplną <sup>1</sup>	84,4	95,8	98,1

## 5. Analiza ekonomiczna

Analiza ekonomiczna wykonana została w oparciu o pewne założenia dotyczące: stosowanych urządzeń, cen nośników energii, kosztów obsługi instalacji, scenariusza i warunków jej finansowania.

Bazując na przyjętych projektach technologicznych, przedstawionych na rys. od 1 do 3, w tabeli 2 wyceniono główne urządzenia tworzące instalację.

W obliczeniach przyjęto cenę netto zakupu energii elektrycznej (zgodnie z informacjami pozyskanymi od potencjalnego Inwestora) 0,21 zł/kWh.

Tabela 2. Wycena kosztów inwestycji dla instalacji wykorzystujących ciepło wód kopalnianych dla przygotowania ciepłej wody użytkowej w łaźni górniczej [zł]

Składnik	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Pompy obiegowe, wymienniki ciepła, rurociągi przyłączeniowe, armatura uzupełniająca	69 500	596 200	592 100
Wykonawstwo, projekty, uzgodnienia	20 900	179 000	177 600
<b>Sumarycznie</b>	<b>90 400</b>	<b>775 200</b>	<b>769 700</b>

Ze względu na proekologiczny charakter proponowanych rozwiązań, w scenariuszu finansowania inwestycji założono poziom dotacji na poziomie 75% przewidywanych kosztów inwestycyjnych. Pozostałe fundusze w 15% pochodzić będą z kredytu komercyjnego

<sup>1</sup> Założono, że paliwem z którego wytwarza się ciepło i elektryczną energię napędową jest węgiel kamienny. Sprawność konwersji jego energii chemicznej na ciepło założono 75%, a na energię elektryczną 31% (uwzględniając straty na przesyle).

oprocentowanego na 8% w skali roku i zaciągniętego na 22 lat (okres amortyzacji urządzeń). Przewiduje się 10% udziału kapitału własnego.

W tabeli 3 zestawiono koszty stałe i zmienne związane z funkcjonowaniem instalacji w poszczególnych wariantach. Aktualne koszty funkcjonowania instalacji, w postaci opłat za przewidywaną konsumpcję energii w ilości 12 776 GJ/rok, szacuje się na ok. 307 tys. zł/rok (uwzględniając jedynie koszty zakupu energii cieplnej).

Tabela 3. Koszty stałe i zmienne funkcjonowanie instalacji [zł/rok]

Składnik	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
Koszt zakupu nośników energii cieplnej i elektrycznej	273 000	241 000	235 000
Amortyzacja urządzeń	1 000	9 000	9 000
Koszty remontów i napraw	1 000	12 000	12 000
Koszt obsługi kredytu	2 000	15 000	15 000
<b>Sumarycznie</b>	<b>277 000</b>	<b>277 000</b>	<b>271 000</b>

Tabela 4 przedstawia zestawienie wartości głównych wskaźników ekonomicznych i techniczno-ekonomicznych związanych z oceną opłacalności realizacji inwestycji. Wskaźniki te określono poprzez porównanie wariantów zakładających wykorzystanie wód kopalnianych z wariantami zakładającymi wykorzystanie energii cieplnej pochodzącej z aktualnie używanego źródła.

Tabela 4. Zestawienie wartości podstawowych wskaźników techniczno-ekonomicznych informujących o opłacalności realizacji inwestycji, w odniesieniu do stanu aktualnego

Składnik	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
NPV(@8%) [zł]	285 000	305 000	362 000
IRR [%]	344	52	60
Prosty czas zwrotu nakładów inwestycyjnych [lata]	1,5	10	8,6
Koszt wytworzenia energii cieplnej [zł/GJ] <sup>2</sup>	21,69	21,61	21,15

Wartości osiągnęte przez: wskaźniki dyskontowe (NPV, IRR), prosty czas zwrotu nakładów inwestycyjnych oraz koszty jednostkowe wytworzenia energii cieplnej świadczą o opłacalności realizacji inwestycji. Najlepszych rezultatów ekonomicznych spodziewać się można przy realizacji wariantu pierwszego. Charakteryzuje się on również najniższymi kosztami inwestycyjnymi.

<sup>2</sup> Uwzględniając koszty amortyzacji urządzeń

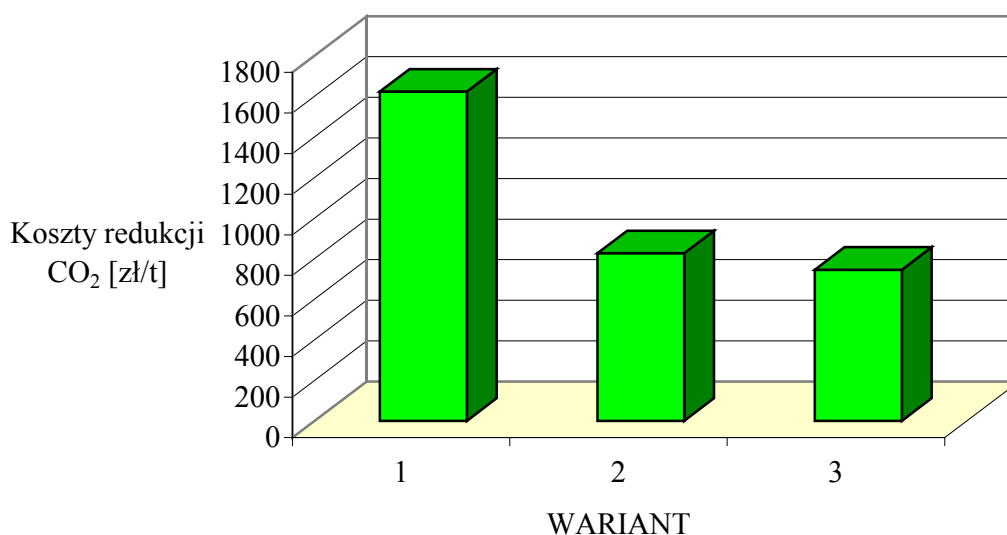
## 6. Analiza oddziaływania na środowisko

Mając na uwadze wartości sprawności konwersji energii chemicznej paliw kopalnych zużywanych (zestawione w tabeli 1) spodziewać się można pozytywnych efektów związanych z ograniczeniem emisji do atmosfery zanieczyszczeń. Tabela 5 przedstawia zestawienie prognozowanego efektu ograniczenia emisji zanieczyszczeń po wprowadzeniu rozważanych wariantów.

Tabela 5. Zestawienie prognozowanego efektu ekologicznego w postaci ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery w poszczególnych wariantach [kg/rok]

Polutant	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
benzo(a)piren	0,0	0,1	0,1
sadza	2,6	5,2	5,6
pył ze spalania paliwa	52,8	103,3	112,1
CO <sub>2</sub>	170 743,3	334 248,8	362 777,0
CO	388,1	759,7	824,5
NO <sub>x</sub> przeliczone na NO <sub>2</sub>	310,4	607,7	659,6
SO <sub>2</sub>	1 055,5	2 066,3	2 242,6
węglowodory alifatyczne	19,4	38,0	41,2
węglowodory aromatyczne	19,4	38,0	41,2

Na rys. 4 zaprezentowano szacowane koszty redukcji emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery.



Rys. 4. Porównanie kosztów redukcji emisji CO<sub>2</sub> w poszczególnych wariantach

Najlepszych efektów ekologicznych, w postaci bezwzględnej redukcji emisji zanieczyszczeń

do atmosfery oraz najniższego kosztu redukcji emisji do atmosfery CO<sub>2</sub> spodziewać się można w przypadku wariantu 3.

## **7. Podsumowanie**

Wykorzystanie energii geotermalnej, której nośnikiem są wody kopalniane pochodzące z odwadniania wyrobisk i chodników Kopalni Węgla Kamiennego PIAST jest przedsięwzięciem, którego opłacalność realizacji potwierdzają wartości otrzymanych wskaźników techniczno-ekonomicznych.

Przeprowadzona analiza technicznej możliwości wykorzystania wód kopalnianych do podgrzewania ciepłej wody użytkowej na potrzeby łaźni górniczej potwierdza techniczną możliwość realizacji inwestycji.

Analizowane rozwiązania nie pociągają za sobą wysokich nakładów inwestycyjnych. W wariantach 1 wynoszą one ok. 90, a w wariantach 2 i 3 ok. 770 tys. zł.

W wyniku wprowadzenia rozważanych rozwiązań spodziewać się należy rocznej redukcji kosztów wytwarzania energii i/lub zakupu ciepłej rzędu 30 tys. zł. Co przy założonym schemacie finansowania inwestycji (75% dotacji, 15% kredyt, 10 % środki własne) daje prosty czas zwrotu nakładów inwestycyjnych poniesionych przez Inwestora: 1,5 roku (dla wariantu 1), 8,6 lat (dla wariantu 3), 10 lat dla wariantu 2.

Dyskontowe wskaźniki określające opłacalność realizacji inwestycji osiągają bardzo dobre wartości, informując o opłacalności realizacji wszystkich z analizowanych wariantów. Przy czym najlepszych efektów w postaci zwrotu zainwestowanego kapitału spodziewać się należy w przypadku wariantu 1. Wszystkie analizowane warianty cechuje redukcja jednostkowej ceny wytwarzania energii ciepłej w stosunku do stanu aktualnego (24,04 zł/GJ) o ok. 2,5 zł/GJ.

Realizacja analizowanych przedsięwzięć przyczyni się również do poprawy środowiska naturalnego redukując emisję zanieczyszczeń i konserwując zasoby paliw kopalnych.

Ostatecznie, mając na uwadze powyższe, za najciekawsze do realizacji uznać należy warianty 1 (wykorzystanie energii wód kopalnianych do wstępnego podgrzewu wody wodociągowej) i 3 (dwustopniowe podgrzewanie wody wodociągowej przez wymiennik przeponowy i pompę ciepła).

Następnym krokiem ku realizacji omawianych wariantów winno być wykonanie studium wykonalności dla wariantów najbardziej atrakcyjnych (warianty 1 i 3).