

Pozyskiwanie i przetwarzanie energii odnawialnej

Jan Górzyński

1. Energetyczne wykorzystanie biomasy i biopaliw

1.1. Pochodzenie i klasyfikacja

Biomasa jest to substancja organiczna, która powstaje w wyniku przetwarzania energii promieniowania słonecznego w procesach fotosyntezy odbywających się w roślinach. Jest formą gromadzenia energii słonecznej jako produktu fotosyntezy – procesu, w wyniku którego rośliny produkują węglowodany z dwutlenku węgla zawartego w atmosferze i wody przy wykorzystaniu promieniowania słonecznego. Skład chemiczny biomasy tworzą podstawowe pierwiastki: węgiel, wodór i tlen.

Według wielu ocen biomasa jako odnawialne źródło energii przedstawia już obecnie duży potencjał do energetycznego wykorzystania. Ilość biomasy, jaka rocznie powstaje, jest wielokrotnie większa od światowego zapotrzebowania na pierwotne nośniki energii.

Powszechnie za biomasę uznaje się materiał pochodzenia organicznego powstający w leśnictwie, przemyśle drzewnym, rolnictwie, przemyśle spożywczym i w gospodarce komunalnej. Biomasa traktowana jest jako odnawialne źródło energii, ponieważ wegetacja roślin będąca źródłem powstawania biomasy może odbywać się tak długo, jak długo dopływa promieniowanie słoneczne i istnieje gleba.

Biomasę pozyskuje się w wyniku produkcji roślinnej, z odpadów występujących w rolnictwie, przemyśle rolno-spożywczym, gospodarstwach domowych, z odpadów drzewnych w leśnictwie, przemyśle drzewnym i celulozowo-papierniczym. Podejmuje się produkcję biomasy na specjalnych plantacjach energetycznych drzew szybko rosnących (wierzba, platan, topola, eukaliptus), trzciny cukrowej, rzepak, słonecznika, wybranych gatunków traw. Istotnym źródłem biomasy są

odpady w produkcji zwierzęcej (gnojowica, biogaz) oraz odpady w gospodarce komunalnej (osady ściekowe, odpady z gospodarstw domowych, makulatura) [9].

Wyhodowano gatunki drzew odpornych na choroby, które charakteryzują się szybkim przyrostem masy drzewnej i zdolnością regeneracji z pnia po ścięciu. Rozwinięto krótkookresową intensywną kulturę upraw biomasy drzewnej, która wykorzystuje szybko rosnące drzewa lub krzewy, rotację 3–10-letnich cykli wycięcia, gęsto sadzonych drzew z nawadnianiem i nawożeniem gleby. Głównymi przedstawicielami krótkookresowych intensywnych upraw są: topola, wierzba, *miskanthus*. Przy 1–2-letnim okresie zakładania plantacji i 2–3-letniej rotacji wycięcia uzyskuje się 15–20 ton suchej masy z hektara powierzchni. Największe uzyskiwane wydajności z hektara stanowią równoważnik 25 ton węgla o wartości opałowej 25 MJ/kg [43].

Biomasa jest surowcem wyjściowym do produkcji biopaliw, wśród których rozróżnia się: stałe, ciekłe i gazowe. Każdą grupę tworzy wiele biopaliw różnego pochodzenia [43]:

- biopaliwa stałe: drewno opałowe (zrębki, trociny, ścinki, wióry, brykiety, pelety), pozostałości z rolnictwa (słoma zbóż, rzepaku i traw), osady ściekowe odwodnione, rośliny energetyczne (drzewiaste i trawiaste), makulatura i inne;
- biopaliwa ciekłe: biodiesel (paliwo rzepakowe), etanol, metanol, paliwa płynne z drewna (benzyna, biooleje);
- biopaliwa gazowe: biogaz rolniczy (z fermentacji gnojowicy), biogaz (z fermentacji odpadów przetwórstwa spożywczego, biogaz (z fermentacji osadów ściekowych), biogaz wysypiskowy, gaz drzewny.

Biopaliwami są pierwotne lub wtórne nośniki energii stanowiące bezpośrednie

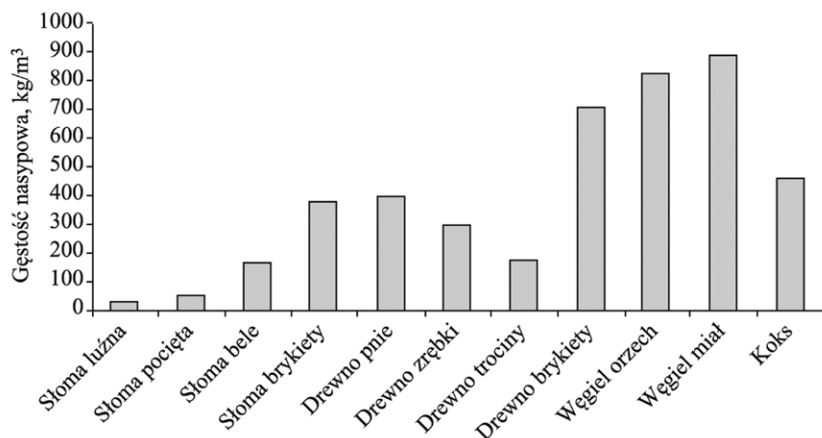
lub pośrednie użytkowanie biomasy. Pierwotne nośniki energii są uprawami roślinnymi wykorzystywanymi bezpośrednio do celów energetycznych jako paliwa stałe. Wtórne nośniki energii stanowią uprawy roślinne przetworzone do postaci ciekłej, jak paliwo rzepakowe, etanol lub metanol, lub do postaci gazowej jako niskokaloryczny gaz, którego głównym składnikiem jest tlenek węgla. Do przetworzonych biopaliw stałych należą brykiety i pelety drzewne.

Biopaliwa stałe mogą być wykorzystywane energetycznie w procesach bezpośredniego spalania, zgazowania oraz pirolizy. Obecne wykorzystanie biopaliw stałych sprowadza się przede wszystkim do bezpośredniego spalania. Specyficzne cechy paliw pochodzenia organicznego, wynikające ze składu chemicznego i właściwości fizycznych, powodują wiele trudności w przebiegu procesów spalania. Natomiast stosowanie biopaliw do celów energetycznych przez zgazowanie jest techniką, która znacznie zmniejsza problemy związane z erozją, korozją oraz osadami na powierzchniach wymiany ciepła kotłowej.

1.2. Charakterystyka energetyczna biopaliw

Drewno składa się z następujących pierwiastków: 50% węgla, 43% tlenu, 6% wodoru, 1% azotu oraz związków mineralnych poniżej 1%. Pierwiastki te występują w postaci związków organicznych: celulozy, hemicelulozy i ligniny. Wartość opałowa drewna zaraz po ścięciu (ok. 50% wilgotności) wynosi 10–12 MJ/kg i ulega zwiększeniu do 18 MJ/kg po suszeniu do wilgotności 15–20% [42, 43].

Drewno jest spalane w kotłach najczęściej w postaci szczap, odpadów pochodzących z zakładów przemysłu drzewnego (np. trociny), zrębków, brykietów lub peletów stanowiących produkt przetworzony. Zawartość popiołu



Rys. 1. Porównanie gęstości nasypowej różnego rodzaju biomasy [42]

Tabela 1. Właściwości chemiczne i termofizyczne biomasy i wybranych paliw [42]

Parametr	Jednostka	Żółta słoma	Szara słoma	Siano	Zrębki drzewne	Węgiel	Gaz
Wilgotność	%	15	15	15	40	12	0
Składniki lotne	% wag.	70	73	70	70	25	100
Popiół	% wag.	4	3	8,4	0,6–1,5	12	0
Węgiel	% wag.	42	43	46,4	50	59	75
Tlen	% s.m.	37	38	37,6	43	7,3	0,9
Wodór	% wag.	5,0	5,2	5,1	6	3,5	24
Chlor	% wag.	0,75	0,20	1,03	0,02	0,08	–
Azot	% wag.	0,35	0,41	1,33	0,3	1,0	0,9
Siarka	% wag.	0,16	0,13	0,09	0,05	0,8	0,0
Wartość opałowa	MJ/kg	14,4	15	14,5	10,4	25	48
Ciepło spalania	MJ/kg	18,2	18,7	18,5	19,4	32	48
Temperatura płynięcia popiołu	°C	800–1000	950–1100	900–1000	1000–1400	1100–1400	–

w drewnie wynosi 0,5–1%. Drewno wysuszone na powietrzu ma wilgotność ok. 20%, a wartość opałowa drewna zależy w dużym stopniu od jego wilgotności. W paleniskach kotłowych spala się często trociny z tartaku; wysuszone trociny mają wilgotność ok. 14% i zawierają 0,6% popiołu. Ich wartość opałowa wynosi ok. 17 MJ/kg.

Parametry techniczne paliw są określone przez ich skład chemiczny i właściwości fizyczne, jak: stan skupienia, gęstość, zawartość składników lotnych, wilgotność, wartość opałowa. Przy rozpatrywaniu techniki wykorzystania paliw niezbędne jest uwzględnienie tych parametrów w celu zapewnienia wysokiej sprawności, niskiej emisji zanieczyszczeń oraz małej ilości odpadów.

Analiza elementarna suchej masy substancji organicznej pochodzenia roślinnego wykazuje mniejszą, w porównaniu ze składem chemicznym węgla kamiennego i gazu, zawartość węgla, a znacznie większą tlenu (tabela 1). Według [75] skład chemiczny substancji organicznych pochodzenia roślinnego jest przedstawiany wzorem sumarycznym $CH_{1,45}O_{0,7}$, podczas gdy skład typowego węgla kamiennego zapisuje się jako $CH_{0,8}O_{0,08}$. Stąd wynika, że biomasa zawiera prawie dwukrotnie więcej atomów wodoru i ponad osiem razy więcej atomów tlenu niż węgiel kamienny, co sprawia, że wartość opałowa jednej cząstki biomasy jest prawie dwukrotnie mniejsza od wartości opałowej węgla kamiennego.

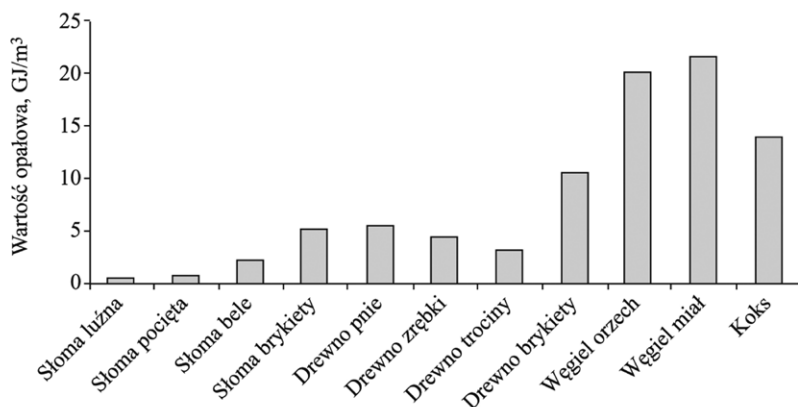
W porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi nośnikami energii pierwotnej biomasa jest paliwem dość uciążliwym przy energetycznym wykorzystaniu. Wynika to przede wszystkim z jej właściwości fizycznych (tabela 1). Jest to bowiem materiał niejednorodny, o małej wartości opałowej w odniesieniu do jednostki objętości. Na przykład 1 m³ słomy luźnej lub siana charakteryzuje się ponad dziesięciokrotnie mniejszą masą w stosunku do drewna i ok. pięćdziesięciokrotnie mniejszą od węgla. Istotną więc wielkością charakteryzującą biopaliwa stała się gęstość nasypowa (rys. 1), ponieważ wpływa decydująco na pracę przewozową i koszty transportu, o czym decyduje objętość paliwa. Dlatego korzystne jest pozyskiwanie biopaliw w pobliżu ciepłowni i systemów skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej. Korzystniejsze z punktu widzenia transportu są paliwa brykietywane lub granulowane, których gęstość nasypowa jest większa niż innych biopaliw stałych, przy względnie wysokiej wartości opałowej. W przypadku słomy i siana można przez prasowanie uzyskać zwiększenie gęstości biomasy nawet 8-krotnie.

Dla biopaliw stałych istotny jest również wskaźnik ilustrujący wartość opałową paliwa na jednostkę objętości (rys. 2). Najkorzystniejsze z tego punktu widzenia są paliwa kopalne, a najmniej korzystne słoma i trociny.

Zmienna zawartość wody (wilgotność), popiołu i składu chemicznego, a zwłaszcza azotu, siarki i chloru, powoduje duże zróżnicowanie w zachowaniu poszczególnych rodzajów biopaliw podczas spalania.

Cechą charakterystyczną biopaliw stałych jest duża zawartość substancji lotnych (ponad 70%), które wydzielają się przy podgrzewaniu paliwa powyżej temperatury 100°C. Po spalaniu biopaliwa pozostaje popiół, przy czym jego ilość i skład zależy od rodzaju biopaliwa.

Z punktu widzenia przebiegu procesu spalania ważnym parametrem jest temperatura topnienia popiołu. Związki zawarte w popiele biopaliw stałych, głównie składniki alkaliczne (sole sodu i potasu), powodują znaczne obniżenie temperatury topliwości. Dlatego



Rys. 2. Porównanie wartości opałowej odniesionej do jednostki objętości różnego rodzaju biomasy [42]

temperatura w strefie utleniania komory spalania łatwo przekracza poziom topnienia popiołu, formuje się żużel, co w konsekwencji pogarsza jakość procesu spalania i prowadzi do pogorszenia intensywności wymiany ciepła. Z tych powodów efektywne spalanie biopaliw stałych wymaga urządzeń odpowiednio dostosowanych do składu paliw i cech popiołu, a systemy spalania biopaliw powinny być projektowane z uwzględnieniem problemu niskiej temperatury topnienia popiołu oraz dużej zawartości składników lotnych.

W praktyce spalania biopaliw stałych stosuje się zabiegi, które pozwalają na unikanie niekorzystnych skutków niskiej temperatury topnienia popiołu. Jednym z nich jest stosowanie dodatków zmniejszających udział związków alkalicznych w popiele lub podwyższających temperaturę topnienia popiołu. Korzystne z tych powodów jest również współspalanie biomasy z węglem, mającym większą zawartość popiołu o wyższej temperaturze topliwości.

Z punktu widzenia efektywności energetycznej upraw energetycznych istotne są trzy wielkości charakteryzujące rośliny:

- wartość opałowa suchej masy rośliny;
- wydajność plonów z jednostki powierzchni uprawy;
- skumulowane zużycie energii na pozyskanie roślin.

Skumulowane zużycie energii na pozyskanie uprawy wymaga uwzględnienia: energii na wytworzenie maszyn i zabiegi

agrotechniczne, energii na wytworzenie nawozów sztucznych, środków ochrony roślin oraz energii na produkcję nasion i transport.

Według porównania wykonanego na podstawie danych przedstawionych w [12] najwyższą wydajnością i efektywnością energetyczną charakteryzuje się uprawa wierzby. Energia uzyskana na poziomie uprawy (bez uwzględnienia dalszego przetwarzania) jest prawie 28-krotnie większa niż energia włożona. Uprawy roślin jednorocznych są zdecydowanie mniej efektywne i rozpatrywanie ich jako upraw przydatnych do produkcji biomasy w celu energetycznego wykorzystania nie znajduje uzasadnienia. Uprawy wieloletnie, jak wierzba, malwa lub lucerna, są tu zdecydowanie korzystniejsze. Najmniej korzystna pod tym względem jest uprawa ziemniaków, dla której wskaźnik efektywności energetycznej jest mniejszy od jedności, co oznacza, że energia włożona w celu uzyskania zbiorów jest większa niż uzyskana wartość energetyczna.

Przy wykorzystaniu drewna w postaci peletów należy zwrócić uwagę na skumulowaną sprawność ich pozyskania, ponieważ ich produkcja wymaga zużycia 24% energii w stosunku do wartości opałowej otrzymanego produktu [81]. Można więc przyjąć, że sprawność energetyczna procesu peletyzacji wynosi 76%. Proces peletyzacji obejmuje następujące podstawowe procesy cząstkowe: transport drewna, suszenie, zmniejszenie wymiarów (produkcja zrębków),

peletyzacja, ochładzanie, przesiewanie, pakowanie, magazynowanie. W wyniku procesu peletyzacji, dla której surowcem były zrębki o wilgotności 50% i gęstości nasypowej 60 kg/m³, uzyskano produkt (paliwo) o wymiarach elementów: średnica 6 mm, długość 10–12 mm, o zawartości wody 6–8%, gęstości nasypowej ok. 650 kg/m³ i wartości opałowej 18,5 GJ/Mg.

1.3. Wykorzystanie energetyczne

Opłacalność stosowania technologii energetycznych wykorzystania biopaliw zależy od stopnia ich zaawansowania oraz wielkości instalacji. W porównaniu ze znacznie wcześniej rozwiniętymi technologiami paliw kopalnych technologie te wymagają większego początkowego nakładu inwestycyjnego przy zwykle niższych kosztach pozyskania paliw. W miarę rozwoju rynku biopaliw należy spodziewać się obniżenia kosztów ich pozyskania i przetwarzania, natomiast w przypadku paliw kopalnych prognozowany jest wzrost cen, co zapewne wpłynie na zwiększenie wykorzystania lokalnie dostępnych odnawialnych źródeł energii.

Biomasa może być stosowana do energetycznego wykorzystania w procesach bezpośredniego spalania biopaliw stałych (np. drewno, słoma, osady ściekowe), przetwarzana na paliwa ciekłe (np. estry oleju rzepakowego, alkohol) bądź gazowe (np. biogaz rolniczy, biogaz z oczyszczalni ścieków, gaz wysypiskowy).

Dla biomasy stałej, takiej jak drewno czy słoma, największe obecnie znaczenie mają technologie oparte na procesach spalania [43]. Oprócz bezpośredniego spalania biomasy istnieje możliwość konwersji termochemicznej w paliwo charakteryzujące się większą przydatnością z punktu widzenia odbiorców. Jednakże technologie energetyczne wykorzystujące wspomniane procesy znajdują się w początkowej fazie rozwoju w stosunku do technologii opartych na procesach spalania.

Najczęściej spotykane techniki energetycznego wykorzystania biopaliw stałych są następujące [43]:

- domowe urządzenia grzewcze opalane drewnem (kominki otwarte, wkłady

- kominkowe, piece, piece akumulacyjne, kotły spalające polana drzewne, zrębki i pelety, zautomatyzowane urządzenia zasilane zrębkami lub peletami);
- urządzenia wytwórcze ciepła opalane słomą;
- kotły ciepłownicze i przemysłowe z paleniskami ze złożem stałym, rusztowe, ze złożem fluidalnym i pyłowe;
- wytwarzanie energii elektrycznej i skojarzona gospodarka ciepłno-elektryczna: systemy małej mocy (turbiny parowe, turbiny gazowe, obieg Rankine'a, silnik Stirlinga, ogniwa paliwowe), systemy dużej mocy (siłownie z turbiną parową, siłownie gazowe z turbiną gazową lub silnikiem spalinowym, zaawansowane układy energetyczne z turbiną gazową);
- współspalanie węgla z biomasą w kotłach ciepłowniczych i przemysłowych.

Do współspalania biomasy z węglem wykorzystuje się istniejącą infrastrukturę przemysłową, bez potrzeby budowy nowych spalarni czy kotłowni, co nie wymaga istotnych nakładów. Współspalanie miałów węglowych i biomasy (głównie drewna) jest technicznie rozwiązaniem stosunkowo prostym [69]. Niezbędne jest dobre wymieszanie paliw ze względu na szybkie wypalanie drewna w stosunku do węgla. W skrajnych przypadkach może dojść do obnażenia znacznych powierzchni rusztu i zakłóceń rozdziału powietrza pierwotnego. W efekcie powstają zakłócenia procesu spalania, okresowe obniżanie sprawności i zwiększanie emisji zanieczyszczeń.

Najważniejszymi technicznymi argumentami za energetycznym wykorzystaniem biomasy są:

- stałe i pewne dostawy krajowego nośnika energii;
- ograniczenie emisji CO₂ w wyniku zmniejszenia zużycia paliw nieodnawialnych;
- wysokie koszty odsiarczania spalin z paliw kopalnych;
- decentralizacja produkcji energii i tym samym wyższe bezpieczeństwo energetyczne.

Jako wady energetycznego zagospodarowania biomasy można wymienić [43]:

- ryzyko zmniejszenia bioróżnorodności w przypadku wprowadzenia monokultur roślin o przydatności energetycznej;
- spalanie biopaliw, jak każde spalanie, powoduje powstawanie NO_x, jednak koszty ich usuwania są wyższe niż w przypadku dużych zakładów energetycznych;
- podczas spalania biomasy, zwłaszcza zanieczyszczonej pestycydami, odpadami tworzyw sztucznych lub związkami chloropochodnymi, wydzielają się dioksyny i furany o toksycznym i rakotwórczym oddziaływaniu;
- trudności spalania na skutek niskiej temperatury topnienia popiołu.

1.4. Wykorzystanie biopaliw gazowych

Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 9 grudnia 2004 r. [R8] definicja biogazu jest następująca: jest to gaz pozyskany z biomasy, w szczególności z instalacji przeróbki odpadów zwierzęcych lub roślinnych, oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów.

Główny potencjał techniczny gazu wysypiskowego w Polsce stanowią większe wysypiska komunalne. Sposobem ograniczenia zagrożeń dla środowiska spowodowanych emisją gazu wysypiskowego jest budowa instalacji do jego odzysku i ewentualnego energetycznego wykorzystania. Uwalnianie gazu wysypiskowego bezpośrednio do atmosfery w świetle przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej jest zabronione. Wykorzystanie gazu wysypiskowego rozwija się w kierunku produkcji ciepła i energii elektrycznej [75].

Istnieje znaczny potencjał techniczny wykorzystania do celów energetycznych biogazu z oczyszczalni ścieków. Do bezpośredniej produkcji biogazu najlepiej są dostosowane oczyszczalnie biologiczne, znajdujące się we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz w części oczyszczalni przemysłowych. Oczyszczalnie ścieków mają stosunkowo wysokie zapotrzebowanie własne zarówno na energię cieplną, jak i elektryczną, dlatego zagospodarowanie biogazu z fermentacji osadów ściekowych może w istotny sposób poprawić opłacalność procesów oczyszczania.

Wykorzystanie gnojowicy w gospodarstwach hodowlanych odbywa się przez wytwarzanie metanu na drodze fermentacji beztlenowej. Wysokie nakłady inwestycyjne oraz brak dostatecznie sprawdzonych rozwiązań technologicznych utrudniają jednak możliwości jej zagospodarowania.

Współczesne instalacje biogazowe wytwarzają z odpadków organicznych (zwierzęcych, rolniczych i komunalnych) równocześnie surowiec energetyczny w postaci gazu palnego o wartości opałowej ok. 20 MJ/m³ oraz naturalny nawóz wykorzystywany następnie w produkcji rolnej.

Eksploatacja instalacji biogazu pociąga za sobą pewne uciążliwości. Pierwszą z nich jest konieczność odizolowania pomieszczeń ludzkich od strefy nieprzyjemnych zapachów. Produkcja i konsumpcja gazu na ogół nie są zgodne w czasie, więc wiąże się to z problemem jego magazynowania i późniejszej dystrybucji. Siarkowodor, będący jednym ze składników biogazu, jest toksyczny i korodujący. Może to w efekcie doprowadzić do wycieków gazu groźących w następstwie wybuchem lub pożarem, co wymaga odpowiednich środków bezpieczeństwa. Instalacje biogazowe mogą też być źródłem emisji do atmosfery gazów cieplarnianych, głównie metanu i dwutlenku węgla.

2. Wykorzystanie energii ze źródeł geotermalnych

2.1. Energia wód geotermalnych

Energetyka geotermalna wykorzystuje energię wnętrza Ziemi dostępną w postaci gorącej wody, pary oraz zawartą w otaczających skałach, dostępną w przepuszczalnej warstwie skalnej skorupy ziemskiej na głębokości większej niż 1000 m. Jest to energia zakumulowana w gruntach, skałach i płynach wypełniających pory i szczeliny skalne.

Największe dostępne źródła energii geotermalnej znajdują się głównie w strefie aktywności tektonicznej i wulkanicznej i tylko niektóre z nich mogą być eksploatowane przy użyciu znanych dzisiaj technologii. Obecnie wykorzystuje się jedynie gorącą wodę (lub parę) z podziemnych zbiorników lub skał porowatych zlokalizowanych

na głębokości do 4500 m, zwykle jednak mniejszej niż 2500 m [89, 90]. Kojarzone powszechnie z geotermią gejzery są źródłami hydrotermalnymi, mającymi połączenie z powierzchnią ziemi. Do ogrzewania są wykorzystywane źródła termalne o niższej temperaturze, ok. 40–80°C, zlokalizowane z dala od stref tektonicznych, między innymi i w Polsce.

Wody geotermalne zawierają rozpuszczone składniki mineralne: NaCl, KCl, CaCl₂, SiO₂ oraz niekondensujące gazy, głównie CO₂ (95%) i H₂S (2–3%) oraz niewielkie ilości amoniaku, metanu, azotu, wodoru i radonu. Gazy zawarte w wodach termalnych stanowią od 1 do 10% objętości mieszaniny powstającej po rozprężeniu wody do fazy gazowej, średnio 2%. Zagrożenie skażenia środowiska naturalnego zależy głównie od zawartości tych składników w wodzie.

Ciepło wydzielane we wnętrzu Ziemi pochodzi z reakcji rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Przeciętny przyrost temperatury przy ruchu w głąb Ziemi wynosi 25–35 K/km. W niektórych regionach świata obserwuje się gradienty znacznie wyższe od przeciętnych. Spotykane są warunki geotermalne korzystne z bardzo wysokim gradientem temperatury (100–130 K/km), z gradientem wysokim (80–100 K/km), średnim (35–80 K/km) oraz z gradientem niskim (do 35 K/km). Warunki charakteryzujące się wysokim gradientem występują w nielicznych miejscach skorupy ziemskiej, zwykle jako wynik lokalnych anomalii geotermicznych [89].

Sposób wykorzystania zasobów geotermalnych zależy od temperatury czynnika grzejącego. Przyjmuje się, że przy temperaturze geopłynu powyżej 120–150°C opłaca się go wykorzystywać do produkcji energii elektrycznej [89, 90]. Przy niższej temperaturze źródła geotermalnych możliwe jest wykorzystanie do celów ciepłowniczych, klimatyzacyjnych, wytwarzania ciepłej wody użytkowej w systemach miejskich i przemysłowych, do ogrzewania szklarni, hodowli ryb oraz do celów balneologicznych i rekreacyjnych.

W miejscach, gdzie osiedla ludzkie są zlokalizowane bezpośrednio nad zasobami geotermalnymi, najbardziej efektywnym rozwiązaniem jest ogrzewanie

scentralizowane. Stolica Islandii, Reykjavik, prawie w całości korzysta z ciepła dostarczanego z dwóch pól geotermalnych znajdujących się pod miastem i z jednego odległego o 15 km. Wykorzystywana tam woda geotermalna charakteryzuje się niską zawartością substancji mineralnych i bez uzdatniania może być kierowana bezpośrednio do sieci ciepłowniczej miasta. Miejski system ciepłowniczy Reykjaviku ma moc cieplną 600 MW. Instalacje geotermalne wykorzystywane w ciepłownictwie działają również w innych krajach: USA, Włochy, Francja, Nowa Zelandia.

W Polsce występuje znaczny potencjał energetyczny wód geotermalnych [90], jednak ze względu na niezbyt wysoką temperaturę (45–75°C) może być praktycznie wykorzystany tylko do ogrzewania budynków, szklarni, ośrodków rekreacyjnych itp. Zagospodarowanie w ciepłownictwie wymaga współpracy instalacji wykorzystującej wody geotermalne z dodatkowym źródłem ciepła.

Zasoby energii geotermalnej w Polsce, przy założeniu realnej możliwości ich bezpośredniego wykorzystania do ogrzewania budynków, są na poziomie 10 mld tpu [89]. W latach 90. XX w. przeprowadzono w Polsce badania mające na celu określenie możliwości wykorzystania wód geotermalnych do produkcji ciepła dla systemów ogrzewania. Najbardziej atrakcyjnie przedstawia się wykorzystanie wód geotermalnych na obszarze niecki podhalańskiej, w okręgu grudziądzko-warszawskim, szczecińskim i łódzkim. W Polsce funkcjonuje

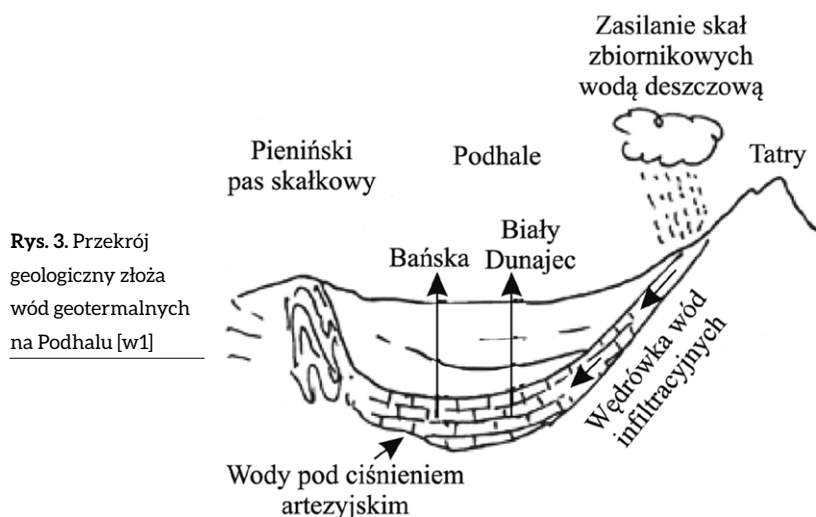
obecnie kilka ciepłowni geotermalnych różniących się między sobą rozwiązaniami technicznymi, wynikającymi z odmiennych parametrów wód geotermalnych, pozyskiwanych mocy i rodzaju odbiorców ciepła.

2.2. Ciepłownicze wykorzystanie wód geotermalnych

Istnieje znaczne zainteresowanie wielu miejscowości budową ciepłowni geotermalnych, planowana jest budowa następnych kilku, należy więc przypuszczać, że w nadchodzących latach nastąpi w kraju znaczne zwiększenie wykorzystania energii gorących wód podziemnych.

Wody geotermalne na Podhalu w dolinie Białego Dunajca charakteryzują się stosunkowo wysoką temperaturą (84–88°C) [w1]. Przekrój geologiczny złoża wód geotermalnych na Podhalu ilustruje schemat pokazany na rys. 3. Schemat ciepłowni geotermalnej w Bańskiej przedstawiono na rys. 4 i 5.

Obecnie pracujące zakłady geotermalne działają w systemie dwóch otworów (produkcyjny i chłonny), znajdujących się w odległości 1 km. Woda gorąca z otworu produkcyjnego przekazuje ciepło w obiegu pierwotnym za pośrednictwem płytowych wymienników ciepła, a po schłodzeniu w obiegu pierwotnym do temperatury 45°C jest transportowana do złoża geotermalnego przez otwór chłonny. Z kolei woda gorąca obiegu wtórnego zasila węzły ciepłownicze u odbiorców ciepła (rys. 4). Przy niższej temperaturze wód geotermalnych stosuje się dodatkowe źródło



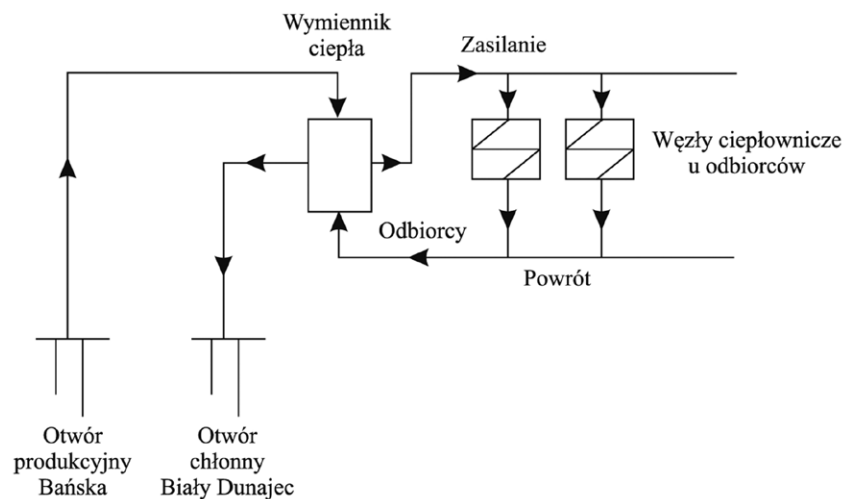
Rys. 3. Przekrój geologiczny złoża wód geotermalnych na Podhalu [w1]

ciepła, którym jest zwykle kotłownia opalana gazem ziemnym (rys. 5) lub kotłownia opalana gazem i wspomagana pompą ciepła (rys. 6).

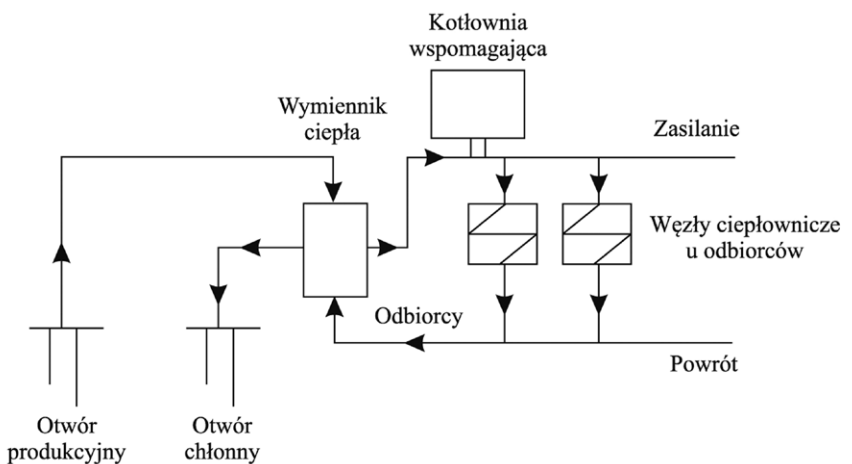
Uruchomiona w 1996 r. w Pyrzycach gazowo-geotermalna ciepłownia o mocy 50 MW była pierwszą dużą instalacją w Polsce wykorzystującą do produkcji ciepła ujęcie geotermalne o mocy maksymalnej 13 MW oraz szczytowe kondensacyjne kotły opalane gazem ziemnym [w2]. Ujęcie geotermalne stanowią dwa otwory czerpalne i dwa zatłaczające. Woda pozyskiwana za pomocą dwóch dubletów, o wydajności pojedynczego otworu 170 m³/h, przepływa przez zespół filtrów do geotermalnych wymienników ciepła. Schemat ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach przedstawiono na rys. 7 [w2]. Woda geotermalna z otworu produkcyjnego o temperaturze 61–63°C jest schładzana w dwóch wymiennikach ciepła do temperatury ok. 26°C i odprowadzana przez otwór chłonny w głąb ziemi. Głębokość odwiertów wynosi 1630 m.

W celu poprawy efektywności wykorzystania entalpii wód geotermalnych zastosowano dwie absorpcyjne pompy ciepła, pozwalające na obniżenie do 25°C temperatury powrotnej wody sieciowej. Dwa kotły niskotemperaturowe (120°C) stanowią szczytowe i awaryjne źródło ciepła. Natomiast dwa kotły wysokotemperaturowe (150°C) służą do zasilania absorpcyjnych pomp ciepła. Woda z kotłów wysokotemperaturowych służy także do okresowego dogrzewania wody sieciowej przy niskiej temperaturze zewnętrznej.

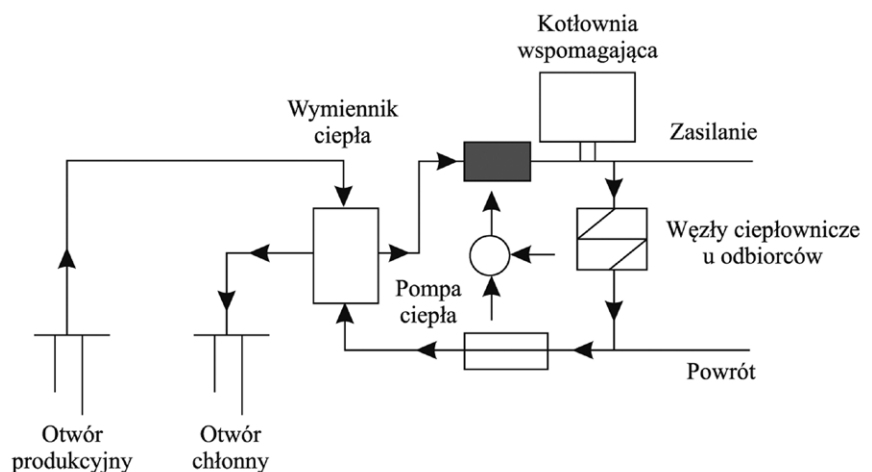
W wymienniku głównym ciepło wody geotermalnej jest przekazywane do wody sieciowej, podgrzewając ją do temperatury 60°C. Schłodzona woda geotermalna kierowana jest do drugiego wymiennika, gdzie ulega dalszemu ochłodzeniu do temperatury 26°C, po czym zatłaczana jest do ziemi. W drugim wymienniku geotermalnym podgrzewa się tylko część wody powrotnej z sieci miejskiej, która najpierw ulega schłodzeniu do temperatury 25°C w parownikach absorpcyjnych pomp grzejnych, a następnie jest podgrzewana w drugim wymienniku do temperatury 41°C. Do wody sieciowej



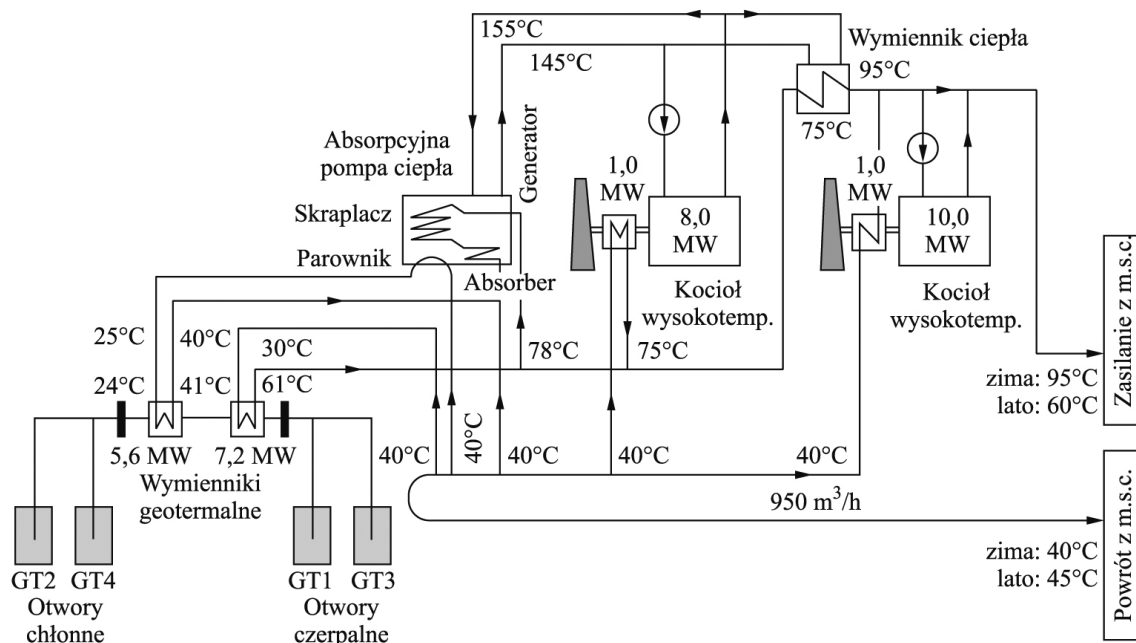
Rys. 4. Wykorzystanie energii geotermalnej z zatłaczaniem wody schłodzonej do górotworu [w1]



Rys. 5. Wykorzystanie energii geotermalnej ze wspomaganie kotłami gazowymi [w1]



Rys. 6. Wykorzystanie energii geotermalnej ze wspomaganie kotłami gazowymi i pompą ciepła [w1]



Rys. 7. Schemat ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach [w2]

opuszczającej wymienniki dopływają strumienie wody podgrzanej: w absorberach i skraplaczach pomp ciepła oraz w chłodnicach spalin kotłów szczytowych i kotłów wysokotemperaturowych. Całkowity strumień wody sieciowej dopływa do kotłów szczytowych, w których jest dogrzewany do wymaganej temperatury.

Woda wypełniająca rurociągi ciepłownicze oraz obiegu wysokotemperaturowego jest uzdatniana przy wykorzystaniu wymienników jonitowych oraz instalacji do odwróconej osmozy. Niskotemperaturowa (95/45°C) miejska sieć ciepłownicza jest wykonana w całości z rur preizolowanych, co zapewnia niskie straty ciepła.

Bibliografia dostępna pod linkiem: nis.com.pl/bibliografia.html

Fragment pochodzi z książki: *Efektywność energetyczna w działalności gospodarczej*, Jan Górzyński, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017