

CZESŁAWA ROSIK-DULEWSKA
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze

NISKOTEMPERATUROWA WODA ODPADOWA Z ENERGETYKI – EFEKTY I SPOSOBY JEJ ZAGOSPODAROWANIA W ROLNICTWIE

W krajowym systemie energetycznym przeważają elektrownie ciepłone wykorzystujące do produkcji energii elektrycznej węgiel kamienny i brunatny. Stosowane technologie produkcji energii elektrycznej pozwalają na wykorzystanie 30–40% energii cieplnej zawartej w tych pierwotnych nośnikach energii. Pozostała ilość ciepła, tj. 5000–6300 kJ/kWh, jest odprowadzana z wody chłodzącej zrzutowej do atmosfery (w chłodniach kominowych, w zamkniętym obiegu chłodzenia) lub do otwartych zbiorników wodnych.

Odprowadzanie podgrzanej wody do otwartych zbiorników wodnych jest najbardziej ekonomicznym sposobem chłodzenia.

Inaczej wygląda sprawa z ekologicznego punktu widzenia, ponieważ zmiany jakości wody w rzekach i zbiornikach wywołane jej podgrzaniem mogą powodować zachwianie równowagi biologicznej w tych odbiornikach. Wielkość tych zmian zależy od stopnia zanieczyszczenia wód substancjami organicznymi i nieorganicznymi (przede wszystkim związkami fosforu i azotu).

Główne i najbardziej niebezpieczne zjawisko polega na szybkim wyczerpywaniu się zapasu tlenu w wodzie, zwłaszcza w przypadku wód stojących. Deficyt tlenu pogłębia się wskutek szybkiego przyrostu biomasy roślin wodnych, a następnie ich rozkładu po obumarciu części wegetatywnych. Podwyższenie temperatury oraz zmniejszenie zawartości tlenu w wodzie stwarzają trudne warunki życia dla zoo- i fitoplanktonu; niektóre gatunki wręcz giną bezpowrotnie.

W publikacjach i doniesieniach proponuje się wykorzystanie ciepła odpadowego, głównie do produkcji żywności, w następujący sposób:

- do podgrzewania gruntów uprawnych w celu wydłużenia sezonu wegetacyjnego;
- do ogrzewania i chłodzenia powietrza w szklarniach i cieplarniach;
- do prowadzenia upraw hydroponicznych;
- do hodowli drobiu, trzody chlewnej, ryb itp.

Spośród wielu rozwiązań w opracowaniu omówiłam jedynie te, które mogłyby mieć szersze zastosowanie w naszym kraju. W przypadku podgrzewania gleby na terenach uprawnych istotną rolę odgrywa ich odległość od elektrowni, ponieważ aby uzyskać równomierne pole temperatur:

1) woda nie powinna się schładzać w rurociągu doprowadzającym na miejsce przeznaczenia,

2) temperatura wody nie powinna być wyższa niż 15–20°C ponad żadaną temperaturę gleby,

3) woda po przejściu przez system rur podgrzewających może się schłodzić maksymalnie do 10°C.

Już w latach 70. w wielu krajach świata powstały pierwsze doświadczalne stacje wykorzystujące ciepło wód zrzutowych z elektrowni do podgrzewania gleb uprawnych, powietrza w szklarniach i w uprawach pod osłonami.

Elsner [8] przedstawił wyniki prac prowadzonych w stacji doświadczalnej w Sherburne County (Minnesota, USA), gdzie całorocznie ogrzewano 6000 m² szklarni (uprawa róż, lewkonii, pomidorów, papryki i sałaty), a ciepło odpadowe pokryło 96% całego zapotrzebowania. Temperatura wody odpadowej – około 30°C – wystarczała na utrzymanie w szklarni temperatury 12–16°C, nawet przy 41°C mrozie. Dla zabezpieczenia w razie wahań temperatury ciepła odpadowego lub ewentualnych awarii niezbędne było zainstalowanie dodatkowego ogrzewania. Kilku autorów [19, 62, 63] omawia rezultaty prac prowadzonych przez Uniwersytet stanu Minnesota nad wykorzystaniem ciepłej wody odpadowej z elektrowni (o temp. 20°C) do ogrzewania cieplarni wykonanych z podwójnej warstwy folii polietylenowej. W cieplarniach uprawiano kwiaty i pomidory. W okresie 3 lat prowadzonych doświadczeń uzyskiwano pozytywne wyniki. W badanych obiektach podgrzewano powietrze i glebę.

Walker [58] opisał inny sposób, w jaki wykorzystano ciepłą wodę odpadową z elektrowni do ogrzewania tuneli foliowych. Wodę rozpylały 4 dysze z wysokości 0,46 m ponad tunelem. Na podstawie uzyskanych wyników badań znaleziono liniową zależność pomiędzy temperaturą pod folią a temperaturą wody i powietrza na zewnątrz. Przy prędkości przepływu 0,094 l/s/m² i temperaturze powietrza na zewnątrz –6°C uzyskuje się 15°C w tunelu przy temp. wody grzejnej 30°C. Zdaniem autora, elektrownia o mocy 1800 MW pozwala na ogrzanie 30 ha tuneli foliowych w ww. sposób.

Inne amerykańskie rozwiązania opisał Pile [35], gdzie woda o temperaturze 20–32°C pompowana była do podgrzewacza rurowego, który zasysał powietrze wentylatorem, lub wodę tę pompowano na specjalną ściółkę wykonaną z Celdeka. Uzyskiwano w ten sposób optymalną temperaturę i wilgotność względną w pobliżu nasycenia. W Instytucie Sadownictwa i Warzywnictwa w Bonn [60] podgrzewano glebę na głębokość 20 cm. Uprawiane pomidory i papryka dały plony handlowe o 80–110% wyższe w porównaniu do nie ogrzewanych poletek. Podobne efekty uzyskiwano w innych ośrodkach na terenie RFN [1], gdzie poza innymi pozytywnymi rezultatami, jak np. przyspieszenie dojrzewania, otrzymano duże zwwyżki plonów (kukurydza – 35%, buraki cukrowe – 70%, ziemniaki – 20–75%, koniczyny i trawy do 48%). Badania powyższe były finansowane w 20% przez Hutę August Thyssen i w 80% przez Ministerstwo Rolnictwa.

Na dużą skalę prowadzono doświadczenia w Auweiler (RFN) [37] z uprawami różnych gatunków warzyw. U niektórych, jak np. u papryki i ogórków, uzyskiwano plony o 75–110% wyższe od upraw kontrolnych.

Hermes [17] przekazał wstępne wyniki prac, które wskazują, że podgrzewanie

gleby powoduje: przyspieszenie terminu zbioru wczesnych ziemniaków, ale obniżkę plonu, zwiększenie plonu kukurydzy o 15–55%, a w tym plonu cukru o 70%. Lucerna i trawy dały natomiast niższe plony.

Inne badania prowadzone w RFN [10] wykazały, że przez 40–70% ogólnego czasu ogrzewania szklarni w roku wystarcza temperatura wody grzejnej wynoszącej ok. 40°C. Zastosowano tu ogrzewanie konwekcyjne przy użyciu specjalnych mat, przez które przepuszcza się ciepłą wodę. Dzięki dużej powierzchni grzejnej i włączeniu dodatkowych grzejników elektrycznych w czasie tylko szczytowych spadków temperatury, woda o temperaturze 40°C pokryła do 90% energii potrzebnej do ogrzewania szklarni.

Sansdrap [48] opisał efekty doświadczenia uprawowego prowadzonego pod osłonami. Ciepło odpadowe rozprowadzone rurami w glebie przyspieszyło i zwiększyło znacznie zbiory owoców. Autor wymienia odmiany truskawek, które szczególnie korzystnie zareagowały na podgrzewanie. Również Michon [29] przedstawia wyniki, jakie uzyskano w 5 punktach (w pobliżu elektrowni atomowej) na terenie Francji, gdzie wykorzystano istniejące wody odpadowe do ogrzewania szklarni i tuneli foliowych.

Ciekawe rozwiązanie ogrzewania tuneli ciepłem odpadowym z elektrowni jądrowej we Francji omawia w swej publikacji [36] Ravel d'Esclapon, gdzie woda odpadowa o temp. 35°C wpompowywana jest do basenu znajdującego się przy pierwszym tunelu, skąd jest rozprowadzana do poszczególnych szklarni. Woda zużyta odprowadzana jest do elektrowni. W opisanej metodzie uzyskiwano temperaturę gleby w granicach 20°C, a temp. powietrza 15°C.

Cormary [6] opisując inne doświadczenia z terenu Francji wskazuje na ok. 70% wyższą plonów w zależności od rodzaju uprawianej rośliny, okresu jej uprawy, jak i typu instalacji.

Pilotowe doświadczenia porównawcze szklarni ogrzewanych konwencjonalnie i ciepłem odpadowym prowadzone są również w Szwajcarii [20], w miejscowości Wangen. W doświadczeniach wysadzano ziemniaki (do gruntu podgrzewanego za pośrednictwem systemu rurociągów) na przełomie lutego i marca.

Ziemniaki były przykryte folią. Po dwóch miesiącach przeprowadzano wykopki, osiągając plony w wysokości 20 t/ha.

Podobne efekty uzyskali w swoich pracach inni autorzy z RFN, Wielkiej Brytanii, USA, Francji i ZSRR [7, 14, 15, 22, 26, 28, 38, 46, 47, 57, 59, 61], którzy potwierdzili, że ogrzewanie gleby zwiększyło plon średnio o 19–50%, w zależności od rośliny i roku uprawy. Ogrzewanie było szczególnie efektywne w okresach chłódów.

Walker [56] w innym artykule opisuje nowatorski sposób ogrzewania szklarni ciepłem odpadowym polegający na opływaniu ciepłej wody cienką warstwą na całej powierzchni szklarni. Spływającą już schłodzoną wodę zbierały rynny. W celach badawczych testowano użycie wody o różnych temperaturach i zmiennych prędkościach przepływu. Z obliczeń autora wynika, że elektrownia o mocy 1800 MW może w ten sposób ogrzać ciepłem odpadowym 50 ha szklarni. W następnym artykule ten sam autor [57] przedstawia rachunek ekonomiczny powyższego sposobu ogrzewania. Roczne oszczędności energii sięgają od 22,5% przy wodzie o temperaturze o

5°C niższej niż woda odpadowa; do 80,4% przy temperaturze o 5°C wyższej. Największe oszczędności energii na ogrzewanie wystąpiły w listopadzie, a następnie w marcu.

Ciekawe rozwiązanie podgrzewania gleby ciepłą wodą z elektrowni zaproponował Parker i współpracownicy [33]. Uprawy prowadzono w szklarniach ogrzewanych ciepłem odpadowym. Porównanie tego systemu ogrzewania z tradycyjnym nie przyniosło jednak oczekiwanych efektów, ponieważ spadek temperatur zewnętrznych poniżej -11°C nie był możliwy do zniwelowania tylko niskotemperaturowym ciepłem odzyskanym z wody. Powyższe rozwiązanie skuteczne było tylko w połączeniu z dodatkowym źródłem ciepła.

Ahmed [2] przedstawił model matematyczny opisujący wymianę ciepła i wilgoci w glebie ilasto-gliniastej i piaszczystej, w sąsiedztwie zagłębionych przewodów grzewczych i nawadniających oraz profile rozkładu temperatury i wilgotności. W doświadczeniach przewodami o średnicy 2,5 cm z tworzywa ułożonymi w glebie na głębokości 0,3 m i w rozstawie 0,3 m doprowadzono wodę o temperaturze 25–40°C w ilości 0,568 m³/h, podnosząc temperaturę gleby na głębokości 0–40 cm o 7–15°C. Konkluzja autora jest taka, iż wykorzystanie ciepła odpadowego do podgrzewania gleby w szklarniach jest technicznie możliwe, co także potwierdziły wyniki prowadzonych doświadczeń.

Największe nadzieje jednak pokładają naukowcy [34] w podgrzewaniu gleby oraz w instalacjach grzejnych typu zasłony wodne – „water-curtain”. Zasada działania zasłon wodnych opiera się na przewodzeniu i promieniowaniu ze względnie dużych, tanich wymienników ciepła. Ciepła woda płynie pomiędzy dwoma warstwami z tworzywa sztucznego, które pracują jako wymiennik ciepła. Koszty tej instalacji są niskie, takie jak konwencjonalnych rozwiązań. Kilka wariantów rozwiązania ogrzewania szklarni w tzw. systemie Hortitherm opracowano w elektrowni w Nadrenii-Westfalii [16]. Oszczędności, jakie uzyskano w wyniku zainstalowania urządzeń grzejnych typu zasłon wodnych w porównaniu do ogrzewania olejem opałowym, wynosiły 60 l oleju/m² szklarni rocznie.

Na temat zależności między ceną ciepła odpadowego a systemem upraw pod osłonami wypowiadają się Southgate i współpracownicy [51]. Przedstawili oni ekonomiczną metodę informującą, jak zmiany cen ciepła wpływają na wybór technik uprawy pod osłonami.

Z przeprowadzonych do tej pory badań wynika, że rozprowadzanie ciepłej wody odpadowej rozwiązywano w różny sposób. Np. głębokość i rozstaw rur w układzie grzejnym zależą od materiału, z którego wykonane są rury (kamionka, polietylen, PCV itp.). Wiele tego typu prac obliczeniowych i doświadczalnych wykonali naukowcy radzieccy [11, 12, 13, 18, 21, 50].

W wyniku przeprowadzonych badań najlepsze okazały się rury polietylenowe odporne na korozję, mrozy do -50°C , działanie kwasów, zgniatanie itp. Dzięki ww. cechom rury te gwarantują większą niezawodność i trwałość systemu grzejnego przy obniżonych kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

Zalety i korzyści ekonomiczno-technologiczne wybudowanych przy elektrowniach atomowych kombinatów szklarniowo-ogrodniczych przedstawiono również w

pracach radzieckich autorów [50, 52]. Z opracowań tych wynika, iż uzyskano znaczne obniżki nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych na jednostkę powierzchni w produkcji warzyw w porównaniu z typowymi gospodarstwami ogrodniczymi.

Elsner [9] przedstawił natomiast oryginalną metodę szacowania jednocześnie ilości ciepła dopływającego, jak i ciepła wymaganego dla systemu grzewczego na bazie niskotemperaturowego nośnika ciepła, jakim jest woda odpadowa.

Praca doktorska Batkiewicza [3], wykonana w RFN, poświęcona jest analizie ekonomicznej dotyczącej wykorzystania ciepła odpadowego z elektrowni do ogrzewania szklarni. Wg autora w warunkach RFN wyższych zysków należy się spodziewać ze szklarni wykorzystujących ciepło odpadowe z elektrowni niż ze szklarni ogrzewanych w sposób tradycyjny.

Na podstawie innej pracy doktorskiej [49], której celem było rozpoznanie możliwości wykorzystania ciepła odpadowego z elektrowni jądrowych do produkcji rolniczej stwierdzono, iż całoroczne podgrzewanie gleby zwiększa przyswajalność fosforu, potasu, magnezu i wapnia oraz wpływa wyraźnie na zwiększenie plonów buraków cukrowych i kukurydzy.

Z doświadczeń amerykańskich i kanadyjskich dotyczących wykorzystania ciepłych wód zrzutowych w uprawach hydroponicznych wynika, że można osiągnąć 4–8-krotny przyrost plonów uprawianych warzyw. Jakość warzyw jest przy tym wyższa niż w przypadku upraw tradycyjnych. Zwraca się jednak uwagę na problematyczne wykorzystanie w uprawach hydroponicznych wód pochodzących z elektrowni jądrowych ze względu na niebezpieczeństwo skażenia pierwiastkami promieniotwórczymi [25, 27].

W wielu publikacjach przedstawiono także pozytywne wyniki z wykorzystania ciepła odpadowego wód zrzutowych do podgrzewania pomieszczeń inwentarskich w hodowli drobiu, tuczu trzody chlewnej [4, 21, 27, 50]. Przy optymalnych temperaturach pomieszczeń uzyskuje się bowiem najwyższe przyrosty biomasy hodowlanej i osiąga najniższe zużycie pasz.

Z dokładnych obliczeń wynika, że w przypadku produkcji trzody chlewnej w pomieszczeniach ogrzewanych zużycie pasz jest mniejsze o 17–20%, przy czym czas osiągnięcia pożądanej wagi tuczniaka jest znacznie krótszy [32].

Innym sposobem wykorzystania ciepła odpadowego jest zmywanie ciepłą wodą zrzutową zanieczyszczeń odchodów z ferm. Zanieczyszczenia te odprowadzane do ciepłych stawów (zbiorniki do schładzania wody z elektrowni) przyczyniają się do szybkiej produkcji glonów, które następnie są źródłem białka i wapnia dla drobiu i trzody chlewnej [64].

Janssen i Giesy [23] w swojej pracy informują, iż okresowe dopływy podgrzanej wody z elektrowni do zbiornika zaporowego wpływają pośrednio na liczebność i strukturę zooplanktonu oraz ichtiofauny.

Pozytywne efekty uzyskiwano także w hodowli ryb prowadzonej w stawach z podgrzewaną wodą, gdzie osiągnano szybszy przyrost wagi ryb, a w niektórych przypadkach sezon hodowlany wydłużał się ze 150 do 300 dni w roku [5, 23, 24, 30, 45, 64].

Morrison [30] stwierdza, że zrzut ciepłych wód w dolnym biegu rzeki, poniżej

tarlisk, spowodował wzrost temperatury wody o 1–3°C powyżej temperatury środowiska. Bytujące w tym miejscu łososie i pstrągi rosły znacznie szybciej. Autor sugeruje, iż wzrost liczebności fauny bezkręgowej był bezpośrednią przyczyną przyspieszenia tempa wzrostu ryb.

Knoesche [24] stwierdza, iż dzięki wprowadzeniu metody podchowu narybku karpia w zamkniętym obiegu podgrzewanej wody uzyskiwano dobre rezultaty, które pozwalają unormować produkcję karpia. Autor przedstawił także wyniki produkcyjne i parametry techniczne wykorzystanych urządzeń.

Nieves i Wella [31] przedstawili metody oraz zalety chowu ryb na skalę przemysłową, a także omówili korzyści finansowe. Szczególnie korzystny, zdaniem autorów, okazał się chów suma w podgrzewanych wodach odpadowych.

Pozytywne rezultaty w hodowli ryb w zbiornikach zasilanych ciepłą wodą odpadową uzyskano już także w naszym kraju, szczególnie w hodowli ryb roślinożernych: białego amura i tołpygi. Prace takie prowadzono w podgrzewanym kanale przy Elektrowni Konin oraz w zbiorniku przy Elektrowni Rybnik [32, 53, 54, 55, 60].

Prace własne

W Instytucie Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze prace nad wykorzystaniem ciepłej wody odpadowej z elektrowni rozpoczęto od prac modelowych w latach 1977–1978. W wyniku uzyskanych danych zaprojektowano i wybudowano instalację doświadczalną, wykorzystującą ciepło odpadowe ze skraplaczy turbin elektrowni Rybnik. Woda o temperaturze $26,7 \pm 8,5^\circ\text{C}$ pobierana jest z rurociągu tłocznego przed wejściem na chłodnię kominową. Stąd pompa przevalowa przepompowuje wodę na 1-hektarowe pole doświadczalne, odległe o 500 m w linii prostej od chłodni kominowych. Na polu doświadczalnym zamontowano instalację grzewczą, złożoną z kolektorów głównych i sekcyjnych, rozdzielających wodę do rur grzejnych umieszczonych na głębokości 40 i 50 cm. Całość pola jest zasilana przez 8 sekcji pracujących przeciwbieżnie. Woda po przejściu przez układ rur grzewczych wraca do misy chłodni kominowych schłodzona średnio o 10°C . Strat na parowanie w tym układzie nie ma. Prędkość przepływu wody została tak obliczona, aby dostarczała ona glebie optymalną (dla potrzeb roślin) ilość ciepła. W przypadku omawianej instalacji woda dostarcza glebie $0,07 \text{ KW/m}^2$. Aby nie wytracać wydzielanego z gleby ciepła, do doświadczeń uprawowych wprowadzono tunele foliowe. W takich warunkach uprawy rozpoczynano wczesną wiosną, a kończono późną jesienią [42]. Za celowością prowadzenia upraw na podgrzewanym gruncie przemawiały uzyskiwane wyniki z pomiarów temperatury gleby i powietrza. Pomiarów temperatur podłoża prowadzone przez 8 lat doprowadziły do jednoznacznego określenia różnic temperatur pomiędzy glebą podgrzewaną a nie podgrzewaną. Różnice te wynoszą:

na głębokości 50 cm	–	9–10°C	na korzyść gleby ogrzewanej
"		40 cm	– 7–10°C " " " "

na głębokości 20 cm – 7–10°C na korzyść gleby ogrzewanej
 “ 10 i 5 cm – 4–9,5°C ” ” ” ”

Dzięki takim warunkom możliwe było 3-krotne zmianowanie roślin w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego.

W przypadku upraw przedplonowych uprawiano: sałatę, kalarepę, rzodkiewkę, kapustę wczesną itp. Plon główny stanowił pomidor, ogórek i papryka. W uprawach poplonowych powtarzały się te same gatunki warzyw co w przedplonie.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń stwierdzono znaczne przyspieszenie w plonowaniu wszystkich uprawianych warzyw i przedstawia się ono następująco:

u kapusty	–	5–9	dni	w porównaniu	do upraw kontrolnych			
u sałaty	–	10–15	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”
u kalarepy	–	śr. 14	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”
u pomidora	–	śr. 20	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”
u ogórka	–	śr. 14	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”
u papryki	–	śr. 20	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”	“ ”

W przypadku upraw przedplonowych i poplonowych często doświadczenia kontrolne wypadały z powodu wymarznienia upraw.

Plony warzyw z gleby podgrzewanej były wyższe od kontrolnych o 9,0–84,0%.

Tak wysoka intensywność prowadzonych upraw wymagała również odpowiedniego nawożenia i nawadniania.

W czasie przebiegu doświadczeń produkcyjnych prowadzono również badania fizykochemiczne i mikrobiologiczne podgrzewanych gleb. W glebie oznaczano podwyższone, ale nie nadmierne, zawartości CO₂, które świadczą o zwiększonej aktywności procesów glebowych [40, 42].

Badania mikrobiologiczne wykazały znaczne zwiększenie ogólnej liczby bakterii oraz oznaczanych bakterii azotowych, takich jak: nityfikatory, denityfikatory i amonifikatory. Wiosną podgrzewanie gleby spowodowało najwyższy wzrost liczby analizowanych mikroorganizmów na głębokości 20–40 cm, natomiast jesienią różnice pomiędzy analizowanymi poziomami (tzn. 0–20, 21–40, 41–60 cm) były niewielkie (poza denityfikatorami) lub też nie było ich wcale [43].

Wzrost temperatur podłoża spowodował również wzrost aktywności analizowanych hydrolaz, takich jak: fosfataza kwaśna, amylaza, proteaza i celulaza [44].

Instalacja grzewcza i prowadzone na niej uprawy zlokalizowane są w pobliżu elektrowni, dlatego też istotną sprawą było wykonanie analiz składu chemicznego podłoża i wszystkich uprawianych warzyw. Analizując uzyskane wyniki stwierdzić należy, iż uprawiane warzywa nie stanowią zagrożenia dla konsumentów, nie zawierają bowiem ponadnormatywnych ilości metali ciężkich i siarki [39, 42]. Jedynie podwyższone zawartości cynku i manganu oznaczano w liściach pomidora i ogórka oraz okresowo w kalarepie i w kapuście.

Dla przedstawionego powyżej rozwiązania wykonana została analiza ekonomiczna, która potwierdziła rentowność rozwiązania. Po przeliczeniu nakładów i efektów przy współczynniku dyskontowym $r=12\%$ współczynnik efektywności dla tradycyjnego ogrodnictwa wynosił 0,4267, natomiast dla identycznego ogrodnictwa

z zaprojektowanym rozwiązaniem ogrzewania typu „agroterma” współczynnik ten wyniósł 0,1822. Powyższa analiza ekonomiczna została wykonana za lata 1980–1985, kiedy ceny węgla uwzględniane w rozliczeniach były znacznie zaniżone ze względu na stosowane dotacje.

Reasumując należy stwierdzić, że korzyści wymierne i niewymierne rozwiązania typu „agroterma” przedstawiają się następująco:

- 1) wykorzystanie odpadu;
- 2) oszczędność na paliwie (w przypadku ogrodnictwa o 33 tunelach (3 x 6 x 30) ogrzewanego przez okres 6 miesięcy w roku jest to 1168 ton węgla o 20 934 J/kg);
- 3) wyżka plonów uprawianych warzyw, śr. o 40%;
- 4) przyspieszenie wegetacji poszczególnych gatunków warzyw, śr. o 10–24 dni, co daje możliwość zwielokrotnienia ilości upraw następujących po sobie;
- 5) efekty typu ochrony środowiska, tzn. niezanieczyszczanie powietrza związkami gazowymi (SO₂, NO_x itp.) oraz pyłowymi, jak ma to miejsce w przypadku tradycyjnie ogrzewanego ogrodnictwa [41].

LITERATURA

- [1] Agroterma – as an example cooperation industry and agriculture. *Agra Europe* 1975 nr 4 Landbe-richte s. 1.
- [2] Ahmed E. i in.: Technical feasibility of utilizing reject heat from power stations in greenhouses. *Trans. ASAE* 1983. Vol. 26 nr 1. s. 200–206.
- [3] Batkiewicz R.: Oekonomische Beurteilung der Ververtung von Kraftwerksabwärme in Horti-hermanlagen – Dargestelltmit Hilfe eines simultanen Investitions. Finanzierungs und Produktions- modelles. Inst. für Landwirtschaftliche Betriebslehre Univ. Bonn 1985, 229 s., Inaugural Dissertation.
- [4] Beal S. E.: Agricultural und Urban Uses of Low-Temperature Heat. *Proceeding of the Conf. on the Beneficial Uses of Thermal Discharges*, Gatlinburg, 1971.
- [5] Bronzi P.: Esperienze preliminari in Italia di piscicoltura termica mediante gabbie gallegianti. *Riv. Ital. Piscicolt. Ittiopat.* 1979, nr 1. s. 4–12.
- [6] Cormary J.: The use heat westes from power plant in vegetables cultivation. *Genie Rur.* 1979, nr 8–9, s. 23–28.
- [7] Drakes C. D.: The use industrial heat in protected cropping. *ADAS Q Rev.* 1980 nr 37, s. 63–68.
- [8] Elsner B.: Gewächshausheizungen mit Kraftwerksabwärme. *Ergebnisse einer amerikanischen Erprobung. Deutsch. Gartenbau* 1980 Jg. 34 nr 25, s. 1124–1128.
- [9] Elsner B.: Basic desigen criteria for low temperature heating systems of greenhouses. *Gartenbau- wissenschaft* 1984. BD. 49 H. 1, s. 45–48.
- [10] Elsner B.: Gewächsausheizungen für Niedertemperaturbetrieb. *Lanndtechnik* 1980. Jg. 35 H. 2, s. 77–80.
- [11] Fołomiejew A., Garbuz W. M.: Osnovy rasczota sistema obogrewa grunta kultiwacionnych sooruzennij. *Elektrific. soc. sel. choz.* 1970. G. 28 nr 11.
- [12] Garbuz W. M.: Wodjanoj i wozdusznyj obogriew poczwy. *Techn. sel. choz.* 1968. G 28 nr 12. cz. 1.
- [13] Garbuz W. M.: Wodjanoj i wozdusznyj obogriew poczwy. *Techn. sel. choz.* 1968. G 26 nr 21, cz. 2.
- [14] Grauby A. i in.: Agriculture and a hot water from nuclear centers. *Agriculture.* 1975 nr 390, s. 246–247.
- [15] Guillermin P., Delmas J. Grauby A.: Agriculture using of wastes heat industrial origine. *Comptes Renus des Seances de L'Academie d'Agriculture de France.* 1976, vol. 62 nr 10, 775–794.

- [16] Hermes M.: Nutzung von Abwärme Industrieller Prozesse für die Beheizung von Gewächshäusern. *Landtechnik* 1983 Jg 38 nr 9, s. 367–368, 382.
- [17] Hermes M.: Abban der Abwärme von Kraftwerken in landwirtschaftlich genutzten Eoden. *Landtechnik* 1978 Jg 33 H. 1, s. 31–32.
- [18] Hosslin R.: Bodenwärme bei Kolrabi. Ihr Einfluss auf die Laublänge des Gewachshauskolrabi. *Gemüse* 1976, nr 7 s. 4.
- [19] How waste heat from electricity can heat greenhouses. *Agric. Engng. St. Joseph, Mich.* 1979. Vol. 60 nr 1 s. 26–31.
- [20] Industriel Abwärme und ihre Verwendung. *Schweiz.* 1979. *Landtechnik* Jg. 41 nr 9, s. 591–593.
- [21] Ioffe I. A.: O sistemie obogriewa poczwy z rawnomiernoj po płoszczadi temperaturroj. *Dokl. Uses Akad. Sel. Choz. Nauk* 1975. nr 5.
- [22] Jeansen M. H.: The use of Waste Heat in Agriculture. *Proc. Natl. Conf. Beneficial Uses of Thermal Discharges, Gatlinburg* 1971.
- [23] Janssen J. Giesy J.: A thermal effluent as a sporadic cornucopia, effect on fish and zooplankton. *Env. Biol. Fish* 1984. Vol. 11, nr 3, s. 191–203.
- [24] Knöesche R.: Produktion starker KI durch vorstrecken in geschlossenen kreislaufanlagen. *Z. Binnefish, DDR. Berlin* 1984 BD 31 H. 3, s. 70–72.
- [25] Kurdel H., Chorzewska W.: Gospodarka wodna w szwedzkich elektrowniach atomowych a ochrona środowiska. *Gospodarka Wodna* 1978, nr 7.
- [26] Lalier E.: Le chauffage electroque du sel. *Comparaison Technique et economique de deux solution. Report Hor. Mar.* 1970, nr 105.
- [27] Leñtz. M. L.: Comercial production and marceting of crops grown hydroponically in environmentally controlled green houses. *Proceding Natl. Conf. Beneficial Uses of Thermal Discharges, Getlinburg* 1971.
- [28] Mehwald L.: Bodenheizung bei mittelfrüher Gurkerotreiberai. *Gemüse* 1974. nr 11.
- [29] Michon X.: Utilisation agricole de la chaleur des condenseurs des centrales nucleaires francaises. *C. R. Sean. Acad. Agricult.* 1985 t. 71 nr 6, s. 675–686.
- [30] Morrison B. R.: The growth of Juvenile Atlantic Salmon, *Salmo Salar L.*, and brown trout, *Salmo Trutta L.*, in a Scottish river system subject to cooling-water discharge. — *J. Fish Biol.* 1989 vol. 35 nr 4, s. 539–556.
- [31] Nieves L., Wella K.: Getting into hot water. The use of reject heat in aquaculture. *Comm. Fish For Aquacult. News* 1979. vol. 5 nr 7, s. 12–16.
- [32] Opaliński Cz.: Tanie źródło energii cieplnej dla rolnictwa. *Nowe Rolnictwo* 1978, nr 5.
- [33] Parker J.: Simulation of buried warm water pipes beneath a greenhouse. *Trans ASAE* 1981. Vol. 24 nr 4, s. 1022–1025, 1029.
- [34] Pasternak D., Rappeport E.: Use of alternative energy sources in protected agriculture. *Outlook Agricult.* 1982. Vol. 11 nr 1, s. 16–20.
- [35] Pile R. S., Burns E. R., Madevill C. E.: The control of a greenhouse climate by use of waste heat from a power plant. *Trans. ASAE* 1978. Vol. 21 nr 2, s. 342–348.
- [36] Ravel d' Esclapon G.: L' energie thermique industrielle au service de l' horticulture. *Agriculture (Paris)* 1979, nr 432, s. 295–297.
- [37] Reinken C.: Abwärmenutzung – eine Chance für den Gemüsebau. II Anwendung Gemüse 1981. Jg 17 H. 8, s. 274–278.
- [38] Rosella E.: Chauffage souterrain des culture solaires. *Agriculture. (Paris)* 1975, nr 301.
- [39] Rosik-Dulewska Cz.: Ogrodnicze wykorzystanie odpadowej energii przemysłowej. *Materiały Konf. nt. Ekologiczno-gospodarcze problemy rozwoju górnictwa Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Lublin* 1977, s. 124–130.
- [40] Rosik-Dulewska Cz.: Wykorzystanie ciepła odpadowego wód zrzutowych z elektrowni do podgrzewania gleb. *Materiały I Ogólnopolskiej Konf. Nauk. nt. Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska. Częstochowa* 1986, s. 513–519.
- [41] Rosik-Dulewska Cz.: Wymierne i niewymierne efekty wykorzystania ciepła odpadowego wód zrzutowych z elektrowni. *Mat. II Ogólnopolskiej Konf. Nauk. nt. Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska. Częstochowa* 1987, z. 2, s. 28–32.
- [42] Rosik-Dulewska Cz.: Ocena porównawcza wzrostu i plonowania warzyw uprawianych w warun-

- kach podgrzewanego podłoża. Sprawozdania z prowadzonych prac w latach 1985–1990. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN Zabrze.
- [43] Rosik-Dulewska Cz., Donocik A., Piotrowska-Seget Z.: Aktywność biologiczna gleb podgrzewanych ciepłem odpadowym z elektrowni. Cz. I Aktywność mikrobiologiczna gleb, praca w druku w Archiwum Ochrony Środowiska.
- [44] Rosik-Dulewska Cz., Donocik A., Piotrowska-Seget Z.: Aktywność biologiczna gleb podgrzewanych ciepłem odpadowym z elektrowni. Cz. II Aktywność enzymatyczna gleb, praca w druku w Archiwum Ochrony Środowiska.
- [45] Rycagov L.: Chorosij proekt-zalog uspecha. Rybovod. Rybolov. 1981, nr 9, s. 6–8.
- [46] Rybkost A. M. i inni: Yeld response to soil warming. Agronomic crops. Agron. 1, 1975, vol. 67, s. 733–738.
- [47] Rybkost A. M. i inni: Yeld response to soil warming. Vegetable crops. Agron. 1, vol. 67, s. 738–743.
- [48] Sansdrap A.: L' utilisation d'eau tiede residuelle dans la culture du fraisier. Fruit Belge 1984, nr 408, s. 361–366.
- [49] Schulte Batenbrock T.: Einfluss Ganzjaehriger Bodenheizung und Bewaesserung auf die Ertragsbildung von Sommerweizen, Mais und Zuckerrueben Sowie auf die Bodenfeuchte und Naehrstoffdynamik. Aut. Thomas Schulte Batenbrock Bonn, Universitaet Bonn, 1985, s.s. 204. Inaugural Dissertation.
- [50] Smirnow W. Z.: Prokladka nagrewatelnego rowoda w kultiwacionnych sooruzeniach. Mechaniz. Elektriz. Soc. Sel. Choz. 1972. G. 30, nr 6.
- [51] Southgate D., Uchrida S., Gadomski E.: Relationship between the price of waste heat and greenhouse industry production system. Hortscience. 1985, vol. 20, nr 6, s. 1121–1122.
- [52] Stasjukewi c A.: Teplicno-ovoscnye kombinaty na baze atomnych elektrostancij. Mechaniz. Elektr. Sel. Choz., 1983, nr 5, s. 49.
- [53] Stankiewicz E.: Próba tuczu pstrąga tęczowego w cyklu rocznym. Gosp. Ryb. 1978, t. 30, nr 8, s. 8–10.
- [54] Trzebiatowski R., Stankiewicz M.: Chów karpia towarowego z wycieru w wodzie pochłodniczej. Gosp. Ryb. 1978, t. 30, nr 10/11, s. 19–24.
- [55] Tucholski S., Wojno T.: Możliwości wykorzystania wód podgrzanych do produkcji pstrąga tęczowego. Gosp. Ryb. 1977, t. 29, nr 1, s. 3–5.
- [56] Walker P.: Greenhouses with waste heat. Am. Veg. Grow. 1980, vol. 28, nr 4, s. 46–47.
- [57] Walker P. i inni: Surface-heating greenhouses: microeconomics. Trans. ASAE 1982, vol. 25, nr 2, s. 408–412.
- [58] Walker P.: Surface heating greenhouses with power plant cooling water. Trans. ASAE 1978, vol. 21, nr 2, s. 322–324, 328.
- [59] Wendt T.: Enrigiewerbrauch beim Ambau von Frukohlrabi auf beheizen Boden. Gemüse 1975, H 2.
- [60] Vendt F.: Feldbau von Gemüse auf kunstlich warmen Frailand boden in sommer. Gemüse 1978, Jg. 14, H. 1, s. 22–24.
- [61] Werminghausen B.: Wasser marsch. Kunststoffrohre f r wirtschaftliche Bewaesserung, Beregnung und Bodenheizung. Landmarsch. Mark. 1971, nr 13.
- [62] Widmer R. E.: Warm water greenhouse heating. Am. Veg. Grow. 1978, vol. 26, nr 11, s. 34–36.
- [63] Widmer R. E.: Commercial greenhouse with reject heat from electric generating plants. Hortsc. 1979, vol. 14, nr 5, s. 851–857.
- [64] Williams G.: TVA programs-Waste Heat utilization greenhouses and other agricultural related project. Proc. Natl. Conf. Beneficial. Uses of Thermal Discharges, Gatlinburg 1971.
- [65] Woźniakowski M.: Podch w wylęgu ryb karpiovatych. Cz. V. Wykorzystanie ciepłych wód zrzutowych do podchowu tołpygi białej. Gosp. Ryb. 1979, t. 31, nr 5, s. 7–10.