

Grzegorz Malina, Gabriela Niezgoda

Koncepcja zrównoważonego zagospodarowania terenów po eksploatacji węgla brunatnego w rejonie Bełchatowa

Pozostałością po okresie przemysłowym w wielu krajach europejskich są tereny zdegradowane, położone zwykle na obrzeżach miast, takie jak na przykład wyrobiska po eksploatacji złóż węgla brunatnego [1]. Tereny te zagrażają bezpieczeństwu publicznemu i ekologicznemu, a także spójności przestrzennej ośrodków miejskich. Skala tego problemu oraz zasada zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska – w tym przestrzenią – wymuszają konieczność zagospodarowania terenów zdegradowanych, poprzedzonego w razie konieczności remediacją gruntów i/lub wód podziemnych. Takie działanie umożliwia ponowne włączenie danego terenu do użytkowania, stwarzając tym samym szansę likwidacji wielu problemów społecznych oraz pozwala na ograniczenie obszarów przyrodniczych zajmowanych pod zabudowę mieszkaniową, usługową i przemysłową.

Kopalnia Węgla Brunatnego (KWB) Bełchatów działa od 1975 r., w którym rozpoczęto odwadnianie złoża i nastąpił montaż pierwszej koparki nadkładowej, natomiast pierwsza tona węgla ze złoża „Bełchatów” została wydobyta w 1980 r. W 2002 r. ruszyły prace udostępniające złożo „Szczerców”, którego eksploatację rozpoczęto w 2009 r. [2]. Głównym odbiorcą węgla z KWB Bełchatów jest PGE Elektrownia Bełchatów, zlokalizowana na północ od wyrobiska „Bełchatów”. Jest to największa w Europie elektrownia spalająca węgiel brunatny, z dwunastoma blokami energetycznymi o mocy do 390 MW oraz jednym o mocy 858 MW, co stanowi około 15% całkowitej mocy zainstalowanej w polskiej energetyce. Wytwarzana tam energia elektryczna zaspokaja 20% potrzeb kraju [3].

Celem pracy było zaprezentowanie alternatywnej koncepcji zrównoważonego zagospodarowania obszaru po eksploatacji węgla brunatnego w rejonie Bełchatowa, które pozwoli na dalszy, harmoniczny rozwój całego regionu. Przedstawiono charakterystykę rejonu badań, z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych w trakcie i po zakończeniu eksploatacji, co ma istotne znaczenie w przypadku rolnego oraz leśnego kierunku rekultywacji. Analiza obecnej koncepcji rekultywacji i zagospodarowania wskazała na jej słabe strony i stanowiła punkt wyjścia do zaproponowania alternatywnych, bardziej efektywnych – zdaniem autorów – rozwiązań w rozważanym przypadku. Analiza dokumentów strategicznych na poziomie województwa, powiatów oraz gmin pozwoliła na przedstawienie

propozycji rozwiązań, które wpisują się w obecny kierunek rozwoju społeczno-gospodarczego regionu i umożliwiają kompleksowe rozwiązanie problemów związanych z negatywnym oddziaływaniem KWB Bełchatów na środowisko naturalne. W proponowanej koncepcji wykorzystano całościowe podejście wypracowane w trakcie realizacji unijnego projektu zatytułowanego „Holistyczne zarządzanie rewitalizacją terenów zdegradowanych – HOMBRE” [4].

Charakterystyka rejonu badań

Lokalizacja, hydrologia i hydrografia

Polska Grupa Energetyczna (PGE) Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA – Oddział KWB Bełchatów administracyjnie zlokalizowana jest w województwie łódzkim, przy czym złożo „Bełchatów” znajduje się w powiecie bełchatowskim w gminie Kleszczów, natomiast złożo „Szczerców” obejmuje powiaty bełchatowski (gminy Szczerców i Kleszczów) oraz pajęczański (gminy Rząśnia, Sulmierzyce i Kiełczygłów). Geograficznie analizowany obszar znajduje się w obrębie Niziny Środkowoeuropejskiego, w granicach którego wyróżnia się Wysoczyznę Bełchatowską oraz Kotlinę Szczercowską [5]. Kotlina Szczercowska jest równiną o charakterze misy końcowej lodowca warciańskiego. Dnem płynie Warta i jej dopływ – Widawka. Wysoczyznę Bełchatowską tworzy ukierunkowane z północy na południe pasmo ostańcowych wzgórz zwirowych związanych z maksymalnym zasięgiem zlodowacenia warciańskiego.

Wyrobiska eksploatacyjne znajdują się w obrębie Krainy Wielkich Dolin według podziału opracowanego przez Romera na podstawie wysokości opadów oraz temperatury powietrza [6, 7]. Średnia temperatura z wielolecia 1971–2000 wynosiła 8±9°C, a wysokość opadów atmosferycznych wahała się od 550 mm/a do 600 mm/a. Pomiarzy wykonane w 2016 r. wykazały wzrost wartości średniej temperatury do 10±11°C, natomiast wysokości opadów do 650 mm/a [8].

Wyrobiska położone są w zlewni Widawki (rzeka nizinna, piaszczysto-gliniasta), prawostronnego dopływu Warty. W warunkach naturalnych długość rzeki wynosiła prawie 96 km, przeciętny spadek podłużny – 1,07‰, a całkowita powierzchnia zlewni – 2385 km² [9]. Złożo „Bełchatów” w większej części należy do Jednolitej Części Wód Powierzchniowych (JCWP) nr 443 – Widawka od Kręcicy do Krasówki. Fragmenty północno-zachodni oraz centralny obejmują JCWP nr 175 – Struga Aleksandrowska; potok nizinny piaszczysty. Obszar południowo-zachodni i złożo

„Szczerców” należą do JCWP nr 520 – Krasówka, natomiast zwałowisko zewnętrzne tego wyrobiska do JCWP nr 176 – Nieciecz; potok nizinny piaszczysty. Całość obszaru charakteryzuje się zaburzonym reżimem hydrologicznym oraz zmianami morfologicznymi w zakresie drożności cieków, wywołanymi wpływem KWB Belchatów [10].

Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne

Analizowany obszar znajduje się w obrębie niecki szczecińsko-łódzko-miechowskiej, wypełnionej utworami kredy, która dzieli się na trzy części – szczecińską, mogileńsko-łódzką oraz miechowską [11]. Obszar wyrobisk zlokalizowany jest w niecce mogileńsko-łódzkiej, wypełnionej osadami kredy o miąższości do 3000 m w rejonie miejscowości Turek. Pod nimi zalegają osady jury, triasu i permu. Złoże „Belchatów” leży w obrębie równoleżnikowego rowu Kleszczowa o długości 40 km i szerokości 1,5÷2,0 km, uformowanego w utworach jury i kredy. Strefa rowu tworzy strukturę tektoniczną o kierunku z zachodu na wschód, poprzecznie w stosunku do dwóch głównych jednostek geologiczno-strukturalnych – synklinorium szczecińsko-łódzko-miechowskiego oraz monokliny przedsuddeckiej [12]. Wyróżnia się w nim trzy elementy o odmiennej budowie – zachodni o długości 8 km w obrębie złoży „Szczerców”, środkowy o długości 12 km w obrębie złoży „Belchatów” oraz wschodni w obrębie złoży „Kamieńsk” [13]. Złoże „Szczerców” i „Belchatów” oddzielone są wysadem solnym, natomiast złoże „Kamieńsk” i „Belchatów” strefą uskokową – uskok Widawki. Taka struktura tektoniczna powoduje, że w obrębie złoży „Kamieńsk” głębokość występowania, sposób wykształcenia oraz jego miąższość różnią się od dwóch pozostałych odkrywek [14].

Najstarsze udokumentowane utwory to facja kulkowa karbonu dolnego, rozwinięta jako ilowce, mułowce, łupki ilaste czarne oraz szarogłazy [15]. Perm reprezentowany jest przez czerwony spągowiec oraz osady cechsztynu wykształcone jako sole i związane z nimi gipsy i anhidryty. Występowanie takich utworów ma związek z istniejącym wysadem solnym o średniej miąższości 775 m i szerokości około 550 m [12]. Struktura przebija utwory górnourajskie i kredowe oraz zerodowane formacje trzeciorzędowe. Kompleks podwęglowy miocenu dolnego ma charakter piaszczysto-ilasto-mułkowaty, z warstwami węgla brunatnych. Miąższość tych osadów waha się od 10 m do 130 m, maksymalnie 270 m [12]. Kompleks węglowy datowany na miocen środkowy stanowi najważniejszą część całego systemu. Spąg tworzy warstwa tufitów o miąższości 3÷5 cm, nad którą zalega cienki pokład węgla brunatnego z przeławiczeniami piasków kwarcytowych. Wyżej występuje główny pokład węgla brunatnego o miąższości 40÷60 m, a głębokość zalegania spągu wynosi 170÷300 m [3, 15].

W złoży „Belchatów”, o zasobach 1,2 mld t, występuje węgiel brunatny, określony jako ziemisty właściwy, detrytowy, słabo warstwowany, a także ksylitowoziemisty, ziemisto-ksylitowy oraz ksylit, o średniej wartości opałowej równej 7960 kJ/kg. Miąższość pokładu wynosi 30÷70 m, miejscami 100 m, a nawet 230,5 m [3]. W obrębie złoży „Szczerców”, o zasobach 750 mln t i miąższości pokładu 12÷140 m, występuje węgiel brunatny ziemisty i ziemisto-ksylitowy o wartości opałowej 6798 kJ/kg. Stropową część kompleksu tworzą ilasto-węglowe i ilasto-piaszczyste osady serii nadwęglowej [14]. Poza obszarem rowu osady trzeciorzędu są silnie zredukowane [12], a ich miąższość nie przekracza 50 m [3].

Teren KWB Belchatów należy do Jednolitej Części Wód Podziemnych (JCWPd) nr 96. Obejmuje powierzchnię 2416 km² w regionie Warty, w pasie nizin [16]. Według podziału regionalnego wód podziemnych większa część znajduje się w regionie łódzkim (VII), a zachodni fragment złoży „Szczerców” oraz jego zwałowisko zewnętrzne – w śląsko-krakowskim (XII) [17, 18]. Głębokość występowania wód słodkich waha się w przedziale 400÷600 m p.p.t. Główny Zbiornik Wód Podziemnych (GZWP) nr 408 – Niecka Miechowska ma charakter szczelinowo-porowy (utwory górnej kredy) i obejmuje południową część złoży „Belchatów” oraz całość zwałowiska zewnętrznego [3], natomiast GZWP nr 326 – Zbiornik Częstochowa-Wschód, o charakterze szczelinowo-krasowym, obejmuje północno-zachodnią część zwałowiska zewnętrznego złoży „Szczerców”.

W rejonie występowania węgla brunatnych można wyróżnić trzy piętra wodonośne – czwartorzędowe, trzeciorzędowe oraz kredowo-jurajskie [3]. Piętro czwartorzędowe to głównie piaski i żwiry o miąższości 20÷40 m, lokalnie malejącej do zera. Cechami charakterystycznymi są wymycia erozyjne oraz rozległe kontakty hydrauliczne. W rowie Kleszczowa miąższość dochodzi do 150 m. Po stronie północnej, równoległe do osi rowu, występuje ryna erozyjna, gdzie piaski i żwiry zalegają na utworach mezozoicznych osiągając średnią miąższość 155 m (lokalnie 300 m). W warunkach naturalnych wody tego kompleksu zasilane były przez opady atmosferyczne. Głębokość występowania pierwszego poziomu wodonośnego wynosiła 0÷2 m p.p.t. w dolinach rzecznych, natomiast w obszarach morfologicznie podniesionych – 5÷10 m p.p.t. Kompleks ten charakteryzował się swobodnym zwierciadłem wód. Piętro trzeciorzędowe budują piaski drobno- i średnioziarniste powyżej pokładu węgla brunatnego, w obrębie pokładu oraz w kompleksie podwęglowym. Miąższość tych ostatnich wynosi 0÷200 m (średnio 35 m). Piętro kredowo-jurajskie, zbudowane z wapieni, margli, piaskowców i piasków, charakteryzuje się występowaniem wód szczelinowych i szczelinowo-krasowych, co odróżnia je od pozostałych. Piętra trzeciorzędowe oraz kredowo-jurajskie charakteryzuje naporowe, a miejscami swobodne zwierciadło wód. Zalegają one na podobnych głębokościach co piętro czwartorzędowe, a ich zasilanie odbywa się przez infiltrację i/lub okna hydrogeologiczne. Podobnie jak w przypadku kompleksu czwartorzędowego, strefami zasilania obu tych pięter były obszary wododziału zlewni Widawki.

Odwadnianie złoży

Odwadnianie górotworu jest nieodłącznym elementem prawidłowego funkcjonowania kopalni odkrywkowej. Ma za zadanie eliminację lub ograniczenie zagrożeń wodnych podczas prowadzenia działalności górniczej oraz poprawę właściwości geomechanicznych kopaliny [17]. Celem urządzeń odwadniających jest obniżanie wysokości hydraulicznej w warstwie wodonośnej poniżej spągu pokładu węgla. Pompowanie eksploatacyjne KWB Belchatów rozpoczęto w 1975 r. Odwadnianie prowadzone jest z minimum jednorocznym wyprzedzeniem w stosunku do górniczych robót udostępniających, głównie systemem studni wielkośrednicowych usytuowanych w barierach równoległe do północnych i południowych skarp wyrobiska – zewnętrznych poza obrębem wyrobiska (studnie o głębokości 200÷250 m), wewnętrznych stałych w obrębie wyrobiska (studnie o głębokości 250÷350 m) oraz wewnętrznych nadkładowych pracujących na przedpolu wyrobiska (studnie o głębokości 60÷140 m) [3]. Ważnym elementem są studnie

pracujące na powierzchni terenu, które zbierają wody podziemne dopływające do wyrobiska oraz studnie odwodnienia pomocniczego [19]. W obrębie złoża „Bełchatów” eksploatowanych jest 320 studni pracujących z wydajnością 285 m³/min. W 2008 r. depresja zwierciadła wód podziemnych wynosiła 285 m, natomiast powierzchnia odwadniania 2940 ha (stan na 2009 r.) [3]. W obrębie złoża „Szczerców” pracuje 349 studni z wydajnością 215 m³/min. Depresja w 2009 r. wynosiła 162 m, a powierzchnia odwadniania 1110 ha. Wody z odwadniania wglębnego kierowane są do rowów i kanałów na powierzchni terenu, a następnie są odprowadzane do Widawki lub jej dopływów. Wody z odwadniania powierzchniowego kierowane są do rzeki po ich uprzednim oczyszczeniu w osadnikach [19].

Odwadnianie górotworu powoduje powstawanie leja depresji kopalni, który stanowi „strefę obniżonego zwierciadła wód podziemnych w poziomach wodonośnych objętych wpływem odwodnienia kopalni”, a jako zasięg przyjmuje się „taką odległość, w której zwierciadło wody podziemnej uległo pod wpływem drenażu górniczego obniżeniu o 1 m w stosunku do średniego stanu wieloletniego” [20]. Według innej definicji lej depresji kopalni to „odległość od punktu największego obniżenia powierzchni piezometrycznej do miejsca, w którym to obniżenie praktycznie zanika” [21]. Zasięg leja depresji zmniejsza się po stronie wschodniej, a zwiększa po zachodniej, zgodnie z kierunkiem robót górniczych. W 2008 r. wynosił on 732 km² (około 7÷9 km od centrum odwadniania w kierunkach zachodnim, wschodnim i południowym oraz około 3÷4 km w kierunku północnym). Największy rozwój leja depresji wystąpił na początku odwadniania złoża „Bełchatów”, a następnie od momentu uruchomienia odwadniania złoża „Szczerców” [3]. Na lej depresji w rejonie Bełchatowa składają się również mniejsze, lokalne leje powstałe wskutek eksploatacji licznych studni uruchomionych na potrzeby ludności [22]. Odwadnianie kopalni, powodujące obniżenie zwierciadła wód podziemnych, wywołuje negatywne skutki zarówno dla mieszkańców, jak i środowiska [3]. Zmiany stosunków wodnych zachodzą nie tylko na terenie objętym bezpośrednią działalnością górniczą, ale także na terenach przyległych [17, 19]. Wskutek obniżenia zwierciadła wód podziemnych wody w ciekach i zbiornikach powierzchniowych zanikły, natomiast zwiększyły się przepływy w rzekach poniżej miejsca wprowadzania wód z odwadniania kopalni. Część koryt została uszczelniona, co spowodowało zatrzymanie infiltracji wód do warstwy wodonośnej [3]. Studnie gospodarskie utraciły wodę i w związku z tym konieczna była budowa ponad 50 nowych ujęć wód podziemnych.

Odwodnienie górotworu oraz zdejmowanie nadkładu spowodowały całkowite zniszczenie warstwy gleby. Straty plonów (70÷80% w 2007 r.) stwierdzono w siedliskach pobagiennych, gdzie występują zdegradowane gleby torfowo-murszowe i mineralno-murszowe. Przydatność rolnicza gleb znacznie się zmniejszyła. Dominujący kompleks zbożowo-pastewny słaby (9) zaopatrywany był przez wody gruntowe. Po obniżeniu zwierciadła nastąpiła zmiana na kompleksy żytni dobry (5), żytni słaby (6) oraz żytni bardzo słaby (7) [3, 23]. Skutki obniżenia zwierciadła wód podziemnych obserwuje się także na terenach użytków zielonych (spadek przyrostu masy roślinnej, ograniczenie krzewienia traw i zadarnienia) oraz w obrębie siedlisk, głównie wilgotnych i wodno-błotnych. Przykładem może być szybko zanikający sosnowy bór bagienny, co wiąże się z utratą cennych gatunków roślin [3]. Siedliska występują tam, gdzie

zwierciadło wód gruntowych jest bardzo wysoko, to znaczy niemal przez cały rok znajduje się bezpośrednio pod poziomem gleby, niekiedy na powierzchni. Obniżenie zwierciadła wód uniemożliwia istnienie boru bagiennego [24]. Łęgi jesionowo-olszowy i olszynowy są siedliskami uzależnionymi od stałej obecności płynącej wody, dlatego zanik pobliskich cieków powoduje zahamowanie ich rozwoju oraz ograniczenie występowania i liczebności wielu gatunków ryb [3].

Odwadnianie spowodowało również osiadanie powierzchni terenu. Dochodząca do tego skomplikowana budowa geologiczna oraz zdejmowanie dużych mas skalnych doprowadziło do wstrząsów sejsmicznych. Odprężanie warstw wodonośnych w trakcie odwadniania powoduje powstanie ruchów zrzutowo-przesuwczych w strukturach tektonicznych. Wstrząsy odczuwalne są w obrębie terenu górniczego, obrzeży wyrobisk oraz nad wysadem solnym. Poziom szkód waha się od słabo wyczuwalnych dla ludzi po silne, powodujące szkody w zabudowie [25]. Ogniska wstrząsów poruszają się zgodnie z kierunkiem robót górniczych i zaczęły być odczuwalne od momentu rozpoczęcia prac odwadniających [3].

Lokalizacja złoża węgla brunatnego w rowie tektonicznym powoduje występowanie procesów osuwiskowych. Odwadnianie, skomplikowana budowa złoża oraz nadkładu, wysokość i kąt nachylenia skarp oraz zboczy, właściwości geomechaniczne gruntów, warunki hydrogeologiczne i hydrograficzne oraz procesy odprężeniowe powodują problemy ze statecznością zboczy wyrobisk. Główne przyczyny wywołujące osuwiska w obrębie wyrobisk to występowanie osadów zastoiskowych charakteryzujących się małą wytrzymałością, odwrotnie zalegające osady czwartorzędu i trzeciorzędu, konsekwentne nachylenie warstw zalegających na skrzydle wiszącym uskoku brzeźnego, osady zwietrzelinowe na stropie utworów mezozoicznych oraz zaburzenia uskokowe i fałdowe [3]. Według prognozy osiadań i odkształceń w wyniku odwadniania górotworu maksymalne osiadanie powierzchni terenu nie przekroczy 0,5 m i wystąpi w rejonie wysadu solnego „Dębina”. W obszarach krawędzi wyrobisk będzie się wahało od 0,2 m do 0,4 m, co może prowadzić do szkód w budynkach [25]. W obrębie zwałowisk i na skarpach występują spływy i spętywanie osadów ze skarp oraz wypieranie podłoża przed czołem zwałowiska i osuwiska na skarpach, wywołane przez materiały pylaste i ilaste obecne w osadach [3].

Wyczerpywanie zasobów węgla brunatnego na terenie złóż „Bełchatów” i „Szczerców”, a w rezultacie ich mniej intensywne odwadnianie prowadzi do zmniejszenia się leja depresji. Po zaprzestaniu odwadniania i odbudowie zwierciadła wód prawdopodobnie nastąpi przywrócenie naturalnego zasilania [19]. Analiza pracy dwóch studni w obrębie zwałowiska wewnętrznego złoża „Bełchatów” wykazała, że w jednej z nich odbudowa zwierciadła trwa od 1992 r. (w ciągu 5 lat o prawie 100 m), a w drugiej od 1993 r. (70 m w ciągu 4 lat) [3, 26]. Odbudowa zwierciadła wód podziemnych poprawi warunki gruntowo-wodne oraz zwiększy retencję wód. W konsekwencji poprawi się stan środowiska naturalnego (wzrost powierzchni zajmowanej przez rośliny, siedlisk oraz miejsc bytowania i żerowania zwierząt). Pod wpływem podnoszenia się wód grunt będzie zachowywał się jak ciało sprężyste, przy czym powrót do pierwotnego stanu nastąpi z opóźnieniem w stosunku do odbudowującego się zwierciadła wody. Takie zmiany nie mają i nie będą miały wpływu na budynki obecnie i w przyszłości.

Warunki hydrochemiczne

W stanie naturalnym wody omawianego rejonu należały do słodkich typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, o niskiej mineralizacji $200\text{-}400\text{ mg/dm}^3$, niekiedy z podwyższoną zawartością jonów żelaza. Wzrost mineralizacji do 820 mg/dm^3 związany był z przyrostem zawartości chlorków [3]. Odmienne charakter mają wody rejonu antykliny Łękińskiej (jura dolna) oraz wysadu solnego (jura górna). Są to wody typu $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Ca}$ lub $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Ca}$. Chemizm wód wykazywał niewielkie zróżnicowanie do głębokości 300 m, z wyjątkiem rejonu wysadu solnego [27,28]. Wskutek odbudowy zwierciadła wód podziemnych obserwuje się podwyższoną zawartość jonów Ca-SO_4 , co jest związane z utlenianiem minerałów siarczkowych do ulegających hydrolizie siarczanów [3]. Proces ten zachodzi w sztucznie stworzonej strefie aeracji, gdzie istnieje swobodny dostęp tlenu. Siarczany, głównie magnezu, żelaza oraz wapnia przechodzą do roztworu, co zwiększa mineralizację oraz twardość wody [19]. Wypompowywane wody spełniają wymagania odpowiadające I i II klasie czystości [2].

Wyrobiska eksploatacyjne złóż „Bełchatów” i „Szczerców” rozdzielone są wysadem solnym „Dębina”, który w warunkach naturalnych był w równowadze hydrodynamicznej z otaczającymi wodami słodkimi [29]. Odwadnianie spowodowało ryzyko rozmywania struktury wysadu i zasolenia wód kopalnianych. W 1992 r. uruchomiono system studni zabezpieczających przed negatywnymi skutkami obniżenia zwierciadła wód [30]. Bariera ochronna w postaci pierścienia wielkośrednicowych studni wytwarza większą depresję niż odwadnianie wyrobiska, co zapobiega rozmywaniu wysadu [3, 19].

Technologia wydobycia węgla brunatnego

Węgiel brunatny w rejonie Bełchatowa wydobywany jest metodą odkrywkową z zastosowaniem układu koparko-ładowaczka-zwałowarka (KTZ) [2]. W obrębie złoża „Bełchatów” wydobycie odbywa się z kierunku wschodniego na zachodni, natomiast złoża „Szczerców” w kierunku wschodnim [3]. Zdejmowany nadkład na poszczególnych poziomach eksploatacyjnych kierowany jest taśmociągami na zwałowisko zewnętrzne, wewnętrzne lub składowisko kopalni towarzyszących [31]. Obecnie nadkład ze złoża „Bełchatów” składowany jest na zwałowisko wewnętrznym. Po zakończeniu prac udostępniających złożu następuje wydobycie węgla za pomocą koparek węglowych oraz transport przenośnikami taśmowymi do Elektrowni Bełchatów. Metoda odkrywkowa powoduje negatywne skutki na powierzchni terenu – zagłębienia oraz wyniesienia. Technologia zwałowania nadkładu w rejonie Bełchatowa została dobrana w taki sposób, aby minimalizować późniejsze prace rekultywacyjne polegające na kształtowaniu powierzchni terenu [2].

Rekultywacja wyrobisk po kopalniach odkrywkowych

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z 24 kwietnia 2012 r., w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów zagospodarowania złóż (Dz. U. 2012, poz. 511), winne one określać „przewidywany sposób likwidacji zakładów górniczych, ochrony zasobów pozostawionych w złożu po zakończeniu eksploatacji oraz rekultywacji gruntów po działalności górniczej”, natomiast według ustawy z 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu

przestrzennym (Dz. U. 2003, nr 80, poz. 717) kierunek rekultywacji powinien być zgodny z miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego. W przypadku likwidacji zakładu górniczego artykuł 129 Prawa geologicznego i górniczego (Dz. U. 2011, nr 163, poz. 981) wymaga od przedsiębiorcy zabezpieczenia lub zlikwidowania wyrobiska wraz z całym zapleczem, a także zabezpieczenia nie-wykorzystanej kopaliny oraz sąsiednich wyrobisk i złóż. Przepisy wskazują także na obowiązek ochrony środowiska i rekultywacji gruntów po zakończeniu eksploatacji. Zgodnie z artykułem 128 przedsiębiorca, który uzyskał koncesję na wydobycie tworzy fundusz likwidacji zakładu górniczego, na który przeznaczone jest nie mniej niż 10% opłaty eksploatacyjnej. Z kolei według normy PN-G-01203:1964 rekultywacja wyrobisk i zwałowisk w górnictwie odkrywkowym to „wszelkie poczynania i prace doprowadzające tereny poeksploatacyjne i zwałowiska do stanu umożliwiającego racjonalne ich wykorzystanie dla celów gospodarczych, przemysłowych lub innych”.

Prace rekultywacyjne można podzielić na trzy fazy – przygotowawczą, podstawową i szczegółową. Faza przygotowawcza obejmuje analizę wymagań stawianych procesom rekultywacyjnym i zawiera opracowanie dokumentów dotyczących obiektu – analiza kierunków zagospodarowania, projekt zagospodarowania, zakres prac oraz kosztorys [32]. Faza podstawowa (techniczna) obejmuje czynności mające na celu przygotowanie gruntu, czyli ukształtowanie rzeźby terenu, regulację stosunków wodnych, odtworzenie pokrywy glebowej oraz neutralizację (remediację) gruntów toksycznych i użyczenie jałowych. Istotne jest odpowiednie ukształtowanie wyrobisk końcowych i eliminacja obszarów bezodpływowych, jeśli nie planuje się budowy zbiorników wodnych. Ostatnim etapem jest formowanie wierzchniej warstwy w takiej konfiguracji, aby umożliwiała wytworzenie gleby. Zastosowanie odpowiednio dobranych gatunków roślin oraz racjonalne nawożenie przyspiesza te procesy [33]. Należy pamiętać o odtworzeniu tras cieków zmienionych działalnością górniczą oraz odbudowie i budowie dróg dojazdowych (PN-G-07800-2002). Faza szczegółowa – inaczej biologiczna – polega na odtworzeniu gleby, a w konsekwencji stworzeniu odpowiedniego siedliska niezbędne do egzystencji wybranych gatunków roślin. Polega to na nawożeniu, wzbogaceniu gleb w substancję organiczną oraz wprowadzeniu roślinności pionierskiej lub docelowej [32]. Istotna jest regulacja stosunków wodnych na terenach rekultywowanych oraz obszarach przyległych (PN-G-07800-2002). Przed rozpoczęciem prac rekultywacyjnych należy przeprowadzić trzyetapową analizę – określić, jakie funkcje pełnił obszar przed rozpoczęciem wydobycia, rozpoznać charakter i skalę dewastacji oraz określić funkcje, jakie będzie pełnił obiekt po zakończeniu prac [33]. Ogólne i szczegółowe kierunki rekultywacji zestawiono w tabeli 1.

Do określenia kierunku rekultywacji, który da oczekiwane rezultaty, niezbędne jest rozpoznanie geomorfologii obiektu, rodzaju występujących utworów, możliwości przykrycia utworów o złej przydatności rekultywacyjnej warstwą żyzniejszą, warunków wodnych oraz zgodności z planem zagospodarowania przestrzennego, a także czynników ekonomicznych [32]. Kierunek leśny rekultywacji jest – obok rolniczego – najczęściej wybierany ze względu na małe wymagania [35] – obecność słabo produktywnych utworów, duże deniwelacje terenu, emisje zanieczyszczeń. W przypadku dwóch ostatnich las stanowi barierę odpowiednio przeciwoerozyjną oraz ochronną [32]. Celem kierunku rolniczego jest przygotowanie obszaru zniszczonego działalnością górniczą do użytkowania rolniczego, jako

Tabela 1. Ogólne i szczegółowe kierunki rekultywacji [34]
Table 1. General and particular directions of reclamation [34]

Kierunek rekultywacji	Opis szczegółowy
Leśny	– zalesienia o funkcjach biotycznych, produkcyjnych i reprodukcyjnych (gospodarczych), ochronnych – zadrzewienia o charakterze krajobrazowym (estetycznym), parkowym, rekreacyjnym
Rolny	– uprawa i hodowla
Wodny	– rekreacyjny (kąpieliska, sporty wodne) – gospodarczy (zbiorniki retencyjne, zbiorniki wody przemysłowej) – rybacki – przyrodniczy
Rekreacyjny	– wypoczynkowo-turystyczny (plaże, obiekty sportowo-rekreacyjne, bazy noclegowe (pola kempingowe i namiotowe, domki letniskowe, hotele, pensjonaty), bazy gastronomiczne – sportowy (stoki narciarskie, trasy rowerowe, infrastruktura sportów tradycyjnych i ekstremalnych)
Kulturowy	– teatry i amfiteatry, sceny, ekspozycje, sale wystawowe i koncertowe
Dydaktyczny	– ścieżki tematyczne (edukacyjne), muzea przemysłu, skanseny, eko-muzea, archiwa dokumentacji związanych z historią przemysłu, ośrodki szkoleniowe, pomniki historii, parki kulturowe
Przyrodniczy	– rezerваты przyrody, użytki ekologiczne, obszary Natura 2000, pomniki przyrody, stanowiska dokumentacyjne, zespoły przyrodniczo-krajobrazowe, ochrona gatunkowa flory i fauny oraz zadarnienie, zakrzewienie i zazielenienie
Mieszkaniowy	– budownictwo mieszkaniowe, siedliskowe, socjalne, letniskowe
Gospodarczy	– przemysłowy (parki przemysłowe), usługowy (inkubatory przedsiębiorczości, magazyny, sklepy, parkingi), komunalny (składowiska odpadów)

grunty orne, pastwiska lub uprawy. Decydują o nim korzystne warunki geomorfologiczne, rodzaj utworów, uregulowane stosunki wodne oraz odpowiednia infrastruktura. Podstawowym czynnikiem warunkującym wybór tego kierunku jest możliwość uzyskania wysokiej jakości gleby. Jeśli utwory nie spełniają określonych wymagań można za pomocą odpowiednich procesów wytworzyć warstwę czynną biologicznie [33]. Wybór kierunku wodnego jest uzależniony od warunków hydrogeologicznych i sugerowany, jeśli wydobycie kopalin prowadzone jest spod zwierciadła wody lub gdy górotwór jest podczas eksploatacji sukcesywnie odwadniany [32, 34].

Analiza dokumentów strategicznych

Istotnym elementem poprzedzającym wybór metody zagospodarowania terenu po eksploatacji węgla brunatnego jest zapoznanie się z potrzebami regionu. W tym celu analizie poddano dokumenty strategiczne na poziomie województwa łódzkiego, powiatu bełchatowskiego oraz gmin Kleszczów, Szczerców i Sulmierzyce. Dokumenty te nie uwzględniają czasu po zakończeniu eksploatacji, jednak dzięki nim można określić priorytetowe cele regionu oraz mocne i słabe strony poszczególnych jednostek administracyjnych. Zwracają one uwagę na aspekty, które należy

uwzględnić przy tworzeniu koncepcji rekultywacji i zagospodarowania terenu. Dobór skutecznych metod i kierunków zagospodarowania jest szczególnie ważny w rejonie Bełchatowa, z uwagi na ogromny obszar poeksploatacyjny i utratę wielu miejsc pracy po zakończeniu wydobycia węgla. Analiza tych dokumentów pozwala na przygotowanie projektu, który zniweluje negatywne skutki spowodowane eksploatacją oraz będzie odpowiedni do charakteru i strategii rozwoju regionu. Przeanalizowano trzy dokumenty strategiczne na poziomie województwa:

– Strategia rozwoju województwa łódzkiego na lata 2007–2020,

– Plan zagospodarowania województwa łódzkiego,
– Koncepcja strategii rozwoju makroregionu Polski centralnej 2030,

oraz cztery dokumenty strategiczne na poziomie powiatu i gmin:

– Strategia rozwoju powiatu Bełchatowskiego na lata 2014–2020,

– Plan rozwoju lokalnego gminy Kleszczów na lata 2008–2015,

– Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Szczerców,

– Plan rozwoju lokalnego gminy Sulmierzyce na lata 2009–2015.

Według tych dokumentów analizowany region jest nastawiony na wprowadzenie takich rozwiązań, które zapewnią mu wysoką pozycję w województwie. Zrekultywowane już zwałowisko zewnętrzne złoża „Bełchatów” wzbogaciło region o stok narciarski, tor saneczkowy oraz szlaki piesze i rowerowe. Stworzenie podobnej infrastruktury w niewielkiej odległości byłoby zatem powieleniem już zastosowanych rozwiązań. Bliskość dwóch zbiorników o charakterze rekreacyjnym – Wawrzkowizna i Słok – ogranicza zagospodarowanie w tym samym kierunku. Zbiorniki te mają już rozwinięte zaplecze turystyczno-rekreacyjne, odbywają się tam imprezy plenerowe, zawody wędkarskie, jest możliwość wypożyczenia kajaków, rowerów wodnych, łódek, żaglówek, wybudowano także boiska do tenisa ziemnego, siatkówki i piłki nożnej. W obrębie województwa powstał także najdłuższy (2100 km) w Europie szlak konny im. Hubala. Ścieżki rowerowe o łącznej długości prawie 100 km w obrębie powiatu bełchatowskiego stanowią kolejną atrakcję regionu. Wody geotermalne i powstałe dzięki nim ośrodki wypoczynkowo-rehabilitacyjne są dodatkowym urozmaicheniem. Utworzenie zatem następnych obiektów o charakterze rekreacyjnym może nie przyczynić się już tak istotnie do dalszego wzrostu gospodarczego regionu. Z drugiej strony zastosowanie innowacyjnych technologii i rozwiązań stworzy atrakcyjny i konkurencyjny rynek, przyczyniając się do zatrzymania młodych i wykształconych ludzi. Centralne położenie jest bardzo ważnym elementem atrakcyjności regionu, z uwagi na łatwy dostęp do szlaków transportu krajowego i międzynarodowego.

Obecna koncepcja rekultywacji terenów w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie

Opracowana w 2008 r. koncepcja rekultywacji i zagospodarowania wyrobiska złoża „Bełchatów” zakłada jego rekultywację w kierunku wodnym [36]. Prace rekultywacyjne obejmą wypływanie wyrobiska, podzwałowanie skarp zbocznych, zabezpieczenie skarp w strefie falowania wody i w części nadwodnej oraz utworzenie części plażowo-kąpieliskowej [37]. Wypływanie dna wyrobiska zostanie

wykonane z mas nadkładowych złoża „Szczerców” oraz wyłożone utworami słabo- i nieprzepuszczalnymi. Techniczne zabezpieczenie skarp będzie dotyczyć odcinków, na których nie jest możliwe złagodzenie nachylenia i istnieje ryzyko osuwisk i erozji. Pozostała część skarp – wyłączając plaże – zostanie zadarniona. Tereny zwałowiska wewnętrznego zostaną poddane rekultywacji w kierunku leśnym i sportowo-rekreacyjnym. Powstanie park z zapleczem hotelowo-gastronomicznym oraz park technologiczny z ekspozycją maszyn górniczych. Zwałowisko na powierzchni około 300 ha zostało już zreaktywowane i przekazane Lasom Państwowym, ponieważ o takim kierunku rekultywacji decyduje jakość gleb (klasy V i VI) [38].

Wyrobisko eksploatacyjne złoża „Szczerców” także zostanie zreaktywowane w kierunku wodnym. Prace obejmą wypływanie zbiornika, podzwałowanie skarp zboczy, obsianie terenu mieszanką traw oraz zabezpieczenie skarp przed falowaniem. Powstanie zaplecze sportowo-rekreacyjne z wydzieloną strefą plażową. Zwałowisko wewnętrzne po zakończeniu robót górniczych zostanie poddane reeksploatacji, a uzyskany materiał posłuży do wypływania wyrobiska oraz podzwałowania skarp zboczy. Część materiału zostanie użyta do stworzenia półwyspu, który będzie służył jako pole biwakowe i przystań jachtowa, natomiast zwałowisko zewnętrzne, przewidziane pierwotnie do likwidacji, zyska nowe przeznaczenie. Z uwagi na wzrost popularności tego typu rozwiązań w Polsce i na świecie zaplanowano leśno-rekreacyjno-sportowy kierunek rekultywacji. Ma to służyć maksymalnemu wykorzystaniu potencjału krajobrazu poeksploatacyjnego. Powstaną tor formuły I, pole golfowe, kryty stok narciarski oraz dodatkowo hipodrom, ośrodek konferencyjny z zapleczem wystawienniczym, tereny zadrzewione pełniące funkcje parkowo-rekreacyjne, a także ścieżki spacerowe i rowerowe. Zaproponowana koncepcja jest według jej autorów otwarta, a odległy czas zakończenia eksploatacji pozwala na wprowadzanie ewentualnych zmian.

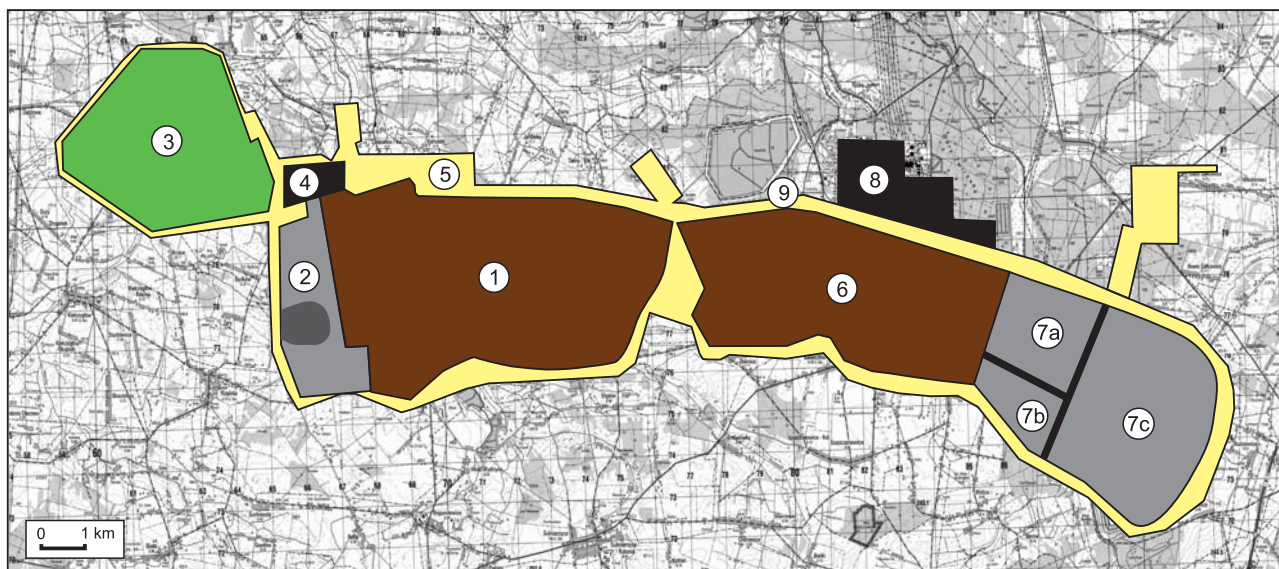
Proponowana koncepcja rekultywacji terenów w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie

Zakończenie eksploatacji węgla brunatnego w obrębie złoża „Bełchatów” zaplanowano na 2019 r., a złoża „Szczerców” na 2038 r. Łącznie rekultywacji zostanie poddany obszar o powierzchni 7886 ha (rys. 1) – 3692 ha w obrębie złoża „Bełchatów” oraz 4194 ha w obrębie złoża „Szczerców”. W tabeli 2 przedstawiono końcowe parametry wyrobisk, zwałowisk i terenów zaplecza KWB Bełchatów.

Wyrobisko poeksploatacyjne złoża „Bełchatów”

Brak wystarczającej ilości masy nadkładowej określa wybór wodnego kierunku rekultywacji wyrobiska złoża „Bełchatów”. Norma PN-G-07800-2002 podaje wytyczne projektowania, rekultywacji i zagospodarowania gruntów przekształconych w wyniku działalności odkrywkowych kopalni węgla brunatnego. Wymienia zasady, jakie należy stosować przy formowaniu wyrobisk przeznaczonych na zbiorniki wodne – nachylenie skarp ($\leq 30\%$) zapewniające trwałą stateczność podczas napełniania zbiornika i w trakcie późniejszego użytkowania; odpowiednia szerokość pasa ochronnego oraz odwodnienie skarp ponad zwierciadłem wody. Prognoza abrazji wymaga wykonania badań modelowych. Projekt dna i skarp zbiornika powinien być opracowany na podstawie opinii geotechnicznej dotyczącej warunków nośności oraz zachowania się podłoża pod wpływem ciężaru słupa wody.

Zgodnie z zasadami zrównoważonego gospodarowania powinno się wykorzystywać naturalne procesy retencji oraz infiltracji wód opadowych i z odwodnienia górotworu do gruntu. Z tego względu proponuje się zastosować zbiornik wodny o charakterze infiltracyjno-retencyjnym [39]. Zbiornik taki może być podzielony na komory w układzie wysokościowym, co umożliwi przechwytywanie i akumulację dodatkowych ilości wód. Następujące po sobie komory – przepływowa, osadowa i infiltracyjna – umożliwiają



1 – Wyrobisko końcowe złoża „Szczerców”

2 – Zwałowisko wewnętrzne

3 – Zwałowisko zewnętrzne złoża „Szczerców”

4 – Zaplecze techniczno-biurowe złoża „Szczerców”

5 – Teren wokół wyrobiska złoża „Szczerców”

6 – Wyrobisko końcowe złoża „Bełchatów”

7a, 7b – Zwałowisko wewnętrzne złoża „Bełchatów” (część zachodnia)

7c – Zwałowisko wewnętrzne złoża „Bełchatów”

8 – Zaplecze techniczno-biurowe złoża „Bełchatów”

9 – Teren wokół wyrobiska i zwałowiska złoża „Bełchatów”

Rys. 1. Obiekty uwzględnione w proponowanej koncepcji zagospodarowania obszaru poeksploatacyjnego KWB Bełchatów [3]
Fig. 1. Objects included in the proposed reclamation and redevelopment concept of open pits following lignite exploitation in the area of KWB Bełchatów [3]

Tabela 2. Parametry wyrobisk, zwałowisk i terenów zaplecza Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów [37]
Table 2. Parameters of excavations, dumping sites and background areas of KWB Bełchatów [37]

Wyszczególnienie	Złoże „Bełchatów”	Złoże „Szczerców”
wyrobisko eksploatacyjne		
Powierzchnia wyrobiska, ha	1691	2200
Powierzchnia stref brzegowych przyległych do wyrobiska, ha	183	116
zwałowisko wewnętrzne		
Powierzchnia zwałowiska, ha	770	69
zwałowisko zewnętrzne		
Objętość zwałowiska, mln m ³	zagospodarowane	907
Powierzchnia stopy zwałowiska i terenu wokół, ha		1264
Wysokość zwałowiska, m		140
zaplecze techniczno-biurowe		
Powierzchnia terenu, ha	212	72
oczyszczalnia ścieków		
Powierzchnia terenu, ha	12	–
teren wokół zbiorników		
Powierzchnia terenu, ha	824	473
Powierzchnia całkowita, ha	7886	

infiltrację wód podczyszczonych mechanicznie, a kanały doprowadzające i odprowadzające zapewniają ich grawitacyjny przepływ. W przypadku niewielkich dopływów wód taki układ umożliwia wykorzystanie jedynie komory przepływowej napełnianej w pierwszej kolejności. Komora przepływowa jest połączona z komorą osadową łącznikiem, którego zadaniem jest regulacja prędkości przepływu w celu sedymentacji zawieszin. Po napełnieniu komory osadowej następuje wypełnianie komory infiltracyjnej, z której wody podczyszczone mechanicznie przedostają się do gruntu zasilając wody podziemne. Jakkolwiek taki zbiornik można usytuować pod powierzchnią terenu, a teren nad zbiornikiem przeznaczyć na inne cele, to jednak otwarta komora infiltracyjna usprawnia jego eksploatację [40]. Budowa zbiornika tego typu w terenie zabudowanym jest możliwa, lecz bardzo kosztowna. Rejon Bełchatowa sprzyja wprowadzeniu takiego rozwiązania z uwagi na otwarty i niezabudowany charakter.

W ramach rekultywacji podstawowej (technicznej) wyrobisko zostanie przygotowane do budowy zbiornika. Niezbędne prace obejmą wypłycenie wyrobiska oraz podzwałowanie zboczy w celu złagodzenia ich nachylenia, a także uszczelnienie utworów zalegających w sąsiedztwie wysadu solnego. Takie rozwiązanie ma na celu zminimalizowanie uszkodzeń skarp wyrobiska. Zbiornik zostanie wypełniony wodami podziemnymi dopływającymi do systemów drenażowych, powierzchniowymi z Warty i Widawki oraz opadowymi z terenu zlewni.

Strefa wokół wyrobiska poeksploatacyjnego oraz zwałowisko wewnętrzne

Teren wokół zbiornika oraz strefy brzegowe będą podane rekultywacji w kierunku leśnym. W celu biologicznej odbudowy skarp zostanie wykonana rekultywacja podstawowa, a także szczegółowa. Lasy będą pełniły funkcje ochronne przed wymywaniem, wyjąławianiem oraz erozją

gleb. Ponadto zapewnią ochronę zasobów wodnych i regulację stosunków wodnych w zlewniach oraz na obszarze wododziałów. Będą też stanowić ostoje dla zwierząt i roślin oraz poprawią właściwości gleb, a także wpłyną na zmiany klimatu i skład atmosfery [41]. Będą także stanowić naturalną barierę ochronną przed zapyleniem, wiatrem i przemieszczaniem się zanieczyszczeń oraz pełnić inne funkcje – retencyjną, kulturową oraz estetyczną [42].

Zwałowisko wewnętrzne złoza „Bełchatów” w proponowanej koncepcji zostało podzielone na cztery strefy. Obszar graniczący ze zbiornikiem wodnym oraz na zachód od zwałowiska zewnętrznego zostanie zagospodarowany w kierunku leśnym. Będzie to kontynuacja trwających już prac rekultywacyjnych – do końca 2005 r. wykonano rekultywację podstawową na obszarze 794 ha oraz szczegółową na powierzchni 233 ha [2]. Sąsiadujące składowisko popiołów zachowa swoje funkcje ze względu na dalszą eksploatację węgla brunatnego w rejonie miejscowości Złoczew. Skłania to do poszukiwania rozwiązań, które zmniejszą ilość odpadów oraz przyczynią się do minimalizacji kosztów rekultywacji.

Popioły ze spalania węgla brunatnego mają zastosowanie w rolnictwie, co daje również potencjalne możliwości ich wykorzystania w pracach rekultywacyjnych. Ponieważ zawierają liczne makro- i mikroelementy (wapń, magnez, żelazo, mangan oraz bor), dlatego mogą stanowić składnik odkwaszający glebę [43]. Pyły ze spalania węgla poprawiają także jej właściwości fizyczne, zwiększają pojemność kompleksu sorpcyjnego oraz chłonność wody [44].

Koszty rekultywacji można także obniżyć przez wykorzystanie towarzyszących kopalin obecnych w nadkładzie bełchatowskiego węgla. Do użytecznych skał nadkładu należy zaliczyć przede wszystkim torfy i kredę jeziorną, a także piaski, żwiry, głązy narzutowe, surowce ilaste, krzemienne pospółki piaszczysto-żwirowe, piaskowce kwarcytowe oraz wapienie górnej jury [45]. W 2008 r. wydobyto ponad 51 tys. t torfów, z czego 46 tys. t sprzedano. Torfy wykorzystywane są jako egzogenne źródło substancji organicznych stanowiących istotny element procesów glebotwórczych podczas rekultywacji [3]. Kredę jeziorną wydobywano ze złoza „Bełchatów” w latach 1992–2002 (ogółem około 2,4 mln m³) i zgromadzono na składowiskach zlokalizowanych w północnej oraz wschodniej części wierzchowiny zwałowiska wewnętrznego tego złoza [45]. Jest to bardzo cenny nawóz odpowiadający właściwościom wapna kredowego oraz składnik ekopreparatów stosowanych do poprawy właściwości fizykochemicznych gleb i używany jako składnik użyźniający oraz neutralizujący. W 2008 r. sprzedano ponad 17 tys. t tego materiału [3]. Do kopalin użytecznych podczas rekultywacji terenów pogórnich zalicza się również: głązy narzutowe, krzemionkę piaszczysto-żwirową oraz piaskowce kwarcytowe. Są to surowce, które po uprzedniej przeróbce służą jako kruszywo budowlane oraz drogowe [45]. Jest to szczególnie ważne, gdyż zgodnie z normą PN-G-01203:1964 jednym z etapów procesu rekultywacji jest budowa i odbudowa dróg dojazdowych.

Na północ od składowiska popiołów planuje się budowę składowiska odpadów komunalnych. Takie kraje, jak Wielka Brytania i Niemcy tworzą w odkrywkach eksploatacyjnych ekologiczne składowiska odpadów komunalnych, co wymaga odpowiednio przygotowanego spągu oraz ociosów odkrywki, a także uszczelnienia ze skał ilastych i folii (HDPE) ułożonych na warstwie piasku. Odpady przekłada się warstwami piasku i żwiru, a wodę odprowadza się

systemem rur perforowanych i wstępnie oczyszcza na filtrach. Rozkładowi substancji organicznych przez bakterie beztlenowe towarzyszy powstawanie gazu składowiskowego (biogazu) bogatego w metan. Gaz na składowisku odpadów komunalnych jest wytwarzany przez około 50 lat [46]. Po pięciu latach może zawierać już około 70% metanu i być wykorzystywany na miejscu lub przesyłany do sieci. Powierzchnia składowiska po zamknięciu przykrywana jest warstwą próchniczną, co umożliwia wysianie roślin niskopiennych i daje możliwość wykorzystania tych obszarów do celów rekreacyjnych. Słaba nośność gruntu nie pozwala na przeznaczenie takich terenów pod zabudowę. Powstanie składowiska wymagać będzie zdjęcia nadmiaru materiału oraz uformowanie niecki. Atutem zrehabilitowanego obszaru będą stawy dla zwierząt o charakterze wodopojów. W obrębie zwałowiska zewnętrznego złoża „Bełchatów” stawy o takiej funkcji doskonale spełniają swoją rolę. Teren zaplecza techniczno-biurowego złoża „Bełchatów” nie wymaga rekultywacji. Budynki stanowiące obecnie część KWB Bełchatów zostaną zaadaptowane na użytek firm, które będą eksploatować składowisko odpadów komunalnym, w tym instalację do produkcji biogazu oraz zbiornik infiltracyjno-retencyjny.

Wyrobisko poeksploatacyjne złoża „Szczerców”

Wyrobisko poeksploatacyjne złoża „Szczerców” zyska zupełnie odmienny charakter. Materiał pochodzący ze zwałowisk wewnętrznego i zewnętrznego zostanie przeznaczony do likwidacji zagłębienia terenu spowodowanego wydobyciem węgla. Teren zostanie zagospodarowany w kierunku leśnym i rolnym, co wymaga specjalnego przygotowania gruntu. Prace obejmą rekultywację podstawową oraz szczegółową. Nadkład złoża „Szczerców” tworzą utwory trzecio- i czwartorzędowe, przeważnie lekkie, piaszczyste, wymagające użyznienia. Pozostałe utwory o większej żyzności oceniane są jako potencjalnie produktywne. Znaczny udział utworów spoistych – glin, mułków oraz iłłów – sprzyja budowie warstw mieszanych. Taka konfiguracja minimalizuje koszty rekultywacji oraz intensyfikuje zalesianie [38]. Utwory składowane na zwałowiskach można podzielić na pięć klas według ich przydatności rekultywacyjnej [32]. Klasy I–III obejmują grunty potencjalnie produktywne, odpowiednio bardzo dobre, dobre i wadliwe, klasa IV to grunty jałowe, a klasa V – toksyczne, wymagające izolacji 0,8–1,2 m warstwą innych utworów. Piaski, gliny oraz ily tworzące nadkład złoża bełchatowskiego to przeważnie grunty klas III i IV. Dzięki odpowiednim zabiegom rekultywacyjnym możliwe jest zatem zagospodarowanie rolnicze tego terenu.

W rejonie Bełchatowa do 1987 r. dominował rolny kierunek rekultywacji. Z czasem odstąpiono od takiego rozwiązania na rzecz kierunków bardziej popularnych, takich jak leśny i rekreacyjny [32]. Proponowana koncepcja wykorzystuje zalety kierunków rolnego i leśnego w stosunku do innych sposobów zagospodarowania. Jako uprawę docelową proponuje się rośliny energetyczne. Norma PN-G-07800-2002 zakłada dwie techniczne metody odtworzenia gleb – izolację warstwą gruntów urodzajnych lub kierowaną gospodarkę nadkładem. Nadkład z wyrobisk bełchatowskich jest mieszaniną różnego rodzaju osadów, zatem możliwa do zastosowania jest izolacja warstwą gruntów urodzajnych wybranych z przedpola wyrobiska i pokrycie nimi przypowierzchniowej warstwy utworów jałowych lub toksycznych, a także zastosowanie zabiegów mających na celu polepszenie warunków glebowych, które umożliwią

późniejsze zagospodarowanie w kierunkach rolnym i leśnym. Do użyzniania oraz poprawy właściwości fizyczno-mechanicznych i chemicznych gruntów zalicza się zmianę składu granulometrycznego w celu poprawy właściwości wodno-powietrznych, piaskowanie utworów zwięzłych oraz iłowanie (bentonitowanie) utworów luźnych. Wymagane właściwości można uzyskać przez właściwą agrotechnikę, wapnowanie i uprawę roślin strukturotwórczych. Dodatek materiału organicznego poprawi właściwości sorpcyjne oraz – podobnie jak zmiana składu granulometrycznego – warunki powietrzno-wodne, a także wpłynie pozytywnie na ilość mikro- i makroelementów oraz aktywność mikrobiologiczną. Wprowadzenie roślin próchnicotwórczych i mikroorganizmów (bioaugmentacja) wspomogą procesy biochemiczne. Odpowiedni rodzaj upraw ograniczy erozję i spływ powierzchniowy, co zapewni odpowiednią wilgotność gruntu. Proponowane procesy spowodują przekształcenie gruntów w środowisko glebowe, umożliwiając ich docelową uprawę. Poprawa właściwości fizyczno-chemicznych materiału ziemnego wspomogą rozwój mikroflory i mezoflory glebowej, a wprowadzenie do wierzchniej warstwy gruntu znacznych ilości masy roślinnej – procesy próchniczne. Sugerowane są rośliny jednoroczne, które po osiągnięciu maksymalnego wzrostu będą przeorywane. Zastosowanie torfu, odpadowego węgla brunatnego, ścieków komunalnych, osadów ściekowych i kompostów miejskich może dodatkowo przyspieszyć te procesy. Procesy glebotwórcze można również wspomagać wapnowaniem z wykorzystaniem tlenku wapnia, wapna palonego lub popiołów z elektrowni [47].

Grunty na zwałowiskach w rejonie Bełchatowa nie wykazują fitotoksyczności. Badania prowadzone w latach 80. ubiegłego stulecia wykazały, że możliwe jest wprowadzenie roślinności zielnej (w tym roślin motylkowych) oraz drzewiastej. Szczególnie często wymieniana w literaturze jest lucerna. Dobre rezultaty daje także zastosowanie mieszanek lucerny z koniczyną białą, żyta ozimego, jęczmienia jarego, gorczyca oraz rzepaku [47]. Lucerna ma zdolność wiązania azotu atmosferycznego, dzięki czemu zwiększają się możliwości wegetacji roślin w niekorzystnych warunkach [48]. Opracowany w przypadku terenów pogórnich w Niemczech płodozmian zakłada rośliny zbożowe i motylkowe w kolejności [47] – rośliny szybko pokrywające glebę z wsiewką traw oraz rośliny motylkowe, trawy i rośliny motylkowe (paszowe), rośliny pastewne (słonecznik, kukurydza), rośliny zbożowe z wsiewką roślin motylkowych, rośliny motylkowe (paszowe), rośliny okopowe lub kukurydza, dodatkowo pełne nawożenie obornikiem. Jest to przykładowa konfiguracja roślin w płodozmianie, jednak w zależności od uzyskiwanych rezultatów jest to zagadnienie otwarte.

W 2012 r. rozpoczęto w ramach programu Life+ realizację projektu pod tytułem „Rekultywacja terenów zdegradowanych w rejonie KWB Konin z zastosowaniem uprawy konopi włóknistych” [49, 50]. Zdaniem realizatorów projektu obecnie stosowane sposoby rekultywacji nie przynoszą oczekiwanych rezultatów – gleba nie jest bogata w składniki pokarmowe, plony są bardzo małe, a otrzymywane z nich produkty nie stanowią pełnowartościowych substratów do wytworzenia pokarmu dla ludzi oraz pasz dla zwierząt [51].

Konopie siewne są odporne na wiele chorób i grup szkodników (nie wymagają stosowania środków ochrony roślin), a także hamują rozwój chwastów. Jako roślina jednoroczna szybko osiągają maksymalny wzrost, dzięki

czemu można je także wprowadzać do płodozmianu. Palowy system korzeniowy sprzyja przewietrzaniu gleby oraz poprawia stosunki wodne. Rozbudowane korzenie wrastają w głąb od 1 m do 1,5 m, dzięki czemu mogą pobierać wodę z głębszych warstw. Łodygi osiągają wysokość 3÷4 m [52], a ich rurowa budowa, w połączeniu z trudno rozkładalną celulozą sprzyja ograniczeniu usieciowienia mineralnego gleby, w konsekwencji tworząc naturalne, organiczne kanały umożliwiające przepływ wody i powietrza do gruntu. Właściwości konopi poprawiają także strukturę gruzelkową gleby.

Konopie wraz z lucerną siewną zastosowano do rekultywacji terenów KWB Konin. Po uzyskaniu maksymalnego plonu rośliny koszone kosiarką wyposażoną w trzy kosy, co ułatwiło przyorywanie. Koszenie było poprzedzone opryskami konopi preparatem przyspieszającym rozkład resztek pozbiorowych, a uzyskana biomasa ułatwiła odbudowę warstwy próchnicznej. W pierwszym roku zawartość próchnicy wzrosła o 20÷30%. W tym projekcie przedstawiono również analizę możliwości energetycznego wykorzystania konopi. Ustawa o przeciwdziałaniu narkomanii (Dz. U. 2005, nr 179, poz. 1485) pozwala na wykorzystanie jedynie surowca odpadowego powstającego w procesie wydobycia włókna. Włókna konopi wykorzystywane są jako materiały kompozytowe, w budownictwie oraz w przemyśle papierniczym. Pozostałość, czyli paździerz (drewnik) stanowią odnawialne źródło energii (ciepło spalania w przeliczeniu na suchą masę >18 MJ/kg). Plon konopi może osiągnąć 15 t/ha – trzykrotnie więcej w porównaniu do słomy. Dodatkowym atutem jest brak konieczności dosuszania, co dodatkowo obniża koszty. Kenef i miskantus to rośliny dające większe plony, ale wymagające wyższych nakładów na uprawę oraz intensywniejszej rekultywacji terenu. Ponadto są roślinami wieloletnimi, co uniemożliwia wprowadzenie ich do płodozmianu. Dodatkową zaletą konopi jest dwukrotnie większe pochłanianie CO₂ w stosunku do uwalnianego gazu w trakcie spalania. Wyniki badań wskazują na pozytywny wpływ konopi na proces rekultywacji gruntów [50, 52]. Konopie dają wysoki plon celulozy bogatej w węgiel, tlen i wodór, natomiast lucerna w połączeniu z bakteriami brodawkowymi wytwarza dużo azotu. Uprawiana po konopiach przerasta jej przyorane części, co sprzyja bardziej intensywnym procesom namnażania i aktywności mikroorganizmów i wspomaga procesy próchnicze [51].

Badania potwierdzające celowość uprawy roślin energetycznych, wykonane w latach 2007–2009 na wierzchołku zwałowiska w obrębie zrekultywowanego zwałowiska zewnętrznego złoża „Bełchatów”, miały na celu określenie możliwości pozyskiwania energii z biomasy drzewostanów sosnowych [53]. Piaski, zwiry, mułki, gliny zwałowe i ropy, które budują zwałowisko zostały poddane wapnowaniu. Następnie zastosowano nawożenie mineralne oraz wysiano nasiona mieszkanki traw i roślin motylkowych. Do neutralizacji utworów kwaśnych wykorzystano kredę jeziorną. Kolejnym etapem było wprowadzenie zalesienia w formie sosny zwyczajnej oraz brzozy brodawkowatej. Część drzew posadzono na potencjalnie żyznych piaskach gliniastych, a pozostałe na terenie występowania kwaśnych piasków trzeciorzędowych poddanych neutralizacji. Terenem porównawczym był obszar 19-letniego drzewostanu sosnowego. W pierwszym wariantcie po 17 latach nastąpił przyrost biomasy drzewostanu o 44,26 t/ha, a w drugim o 8,12 t/ha. Monokultury sosnowe są w stanie wyprodukować biomasa w ilości średnio 25 t/ha (w przeliczeniu

na suchą masę), co w konsekwencji da możliwość pozyskania energii w ilości ponad 400 GJ/ha. Stanowi to średnio 30% możliwości produkcyjnych w stosunku do siedlisk z powierzchni porównawczej.

Doświadczenia z Łużyckiego Zagłębia Węglowego w Niemczech wskazują, że sosny mogą rosnąć nawet w bardzo niesprzyjających warunkach, na przykład na glebach kwaśnych. Według autorów pracy [54] produkcja biomasy z przyrostu sosny była większa na terenach pogórnicych, w porównaniu do terenów nienaruszonych działalnością górnictwem. Wyniki badań przeprowadzonych na zwałowisku zewnętrznym złoża „Bełchatów” w celu zaopatrzenia sosny zwyczajnej w składniki pokarmowe wskazują, że gleby zwałowiska dostarczyły tym drzewom wystarczających do wzrostu składników pokarmowych [55]. Jedynie azot był składnikiem deficytowym, jednak jego wartość uznano za wystarczającą do wzrostu roślin na tym obszarze.

Wyniki prowadzonych od 1987 r. badań zmian produktywności gruntów kompleksu zbożowo-pastewnego słabego (9) na obszarze objętym działaniem leja depresji w rejonie Bełchatowa wykazały, że na terenach, gdzie lej depresji uległ wycofaniu nastąpił powrót gleb do stanu poprzedniego i wzrosło plonowanie [25]. Stwierdzona tendencja skłania do zagospodarowania przyległych obszarów w podobny sposób, a ujednoczenie będzie sprzyjało rozwojowi mniejszych gospodarstw przyległych do nowych terenów pokopalnianych. Takie rozwiązania – zastosowane w obrębie terenów pogórnicych – przyciągną inwestorów, na czym skorzystają także mniejsze obszary rolnicze, którym umożliwi to wkroczenie na szersze rynki.

Strefa wokół wyrobiska poeksploatacyjnego oraz zwałowiska wewnętrzne i zewnętrzne

Teren wokół zbiornika oraz strefy brzegowe zostaną poddane rekultywacji w kierunku leśnym, podobnie jak w obrębie złoża „Bełchatów”. Zostaną wykonane prace w zakresie rekultywacji podstawowej oraz szczegółowej mającej na celu biologiczną odbudowę skarp. Zwałowiska wewnętrzne i zewnętrzne złoża „Szczerców” zostaną zlikwidowane, a uzyskany materiał wykorzystany do zasypiania wyrobiska. Teren zaplecza techniczno-biurowego tego złoża nie wymaga rekultywacji. Infrastruktura zostanie dostosowana do nowych wymagań – powstaną magazyny i budynki gospodarcze.

Zagospodarowanie terenu po zakończeniu prac rekultywacyjnych

Proponowana koncepcja zagospodarowania terenu zakłada powstanie obszaru głównie leśno-rolnego w obrębie złoża „Szczerców” ze zbiornikiem infiltracyjno-retencyjnym na terenie złoża „Bełchatów” (rys. 2), co wymaga rozpoczęcia działań już w trakcie prac rekultywacyjnych. Charakter zbiornika wymusza przeznaczenie części obszaru pod zabudowę hydrotechniczną. Niezbędne są drogi dojazdowe dla pracowników oraz ciężkiego sprzętu w przypadku napraw bądź bieżącej konserwacji urządzeń. Na terenie zwałowiska wewnętrznego powstanie składowisko odpadów komunalnych z wykorzystaniem biogazu. Pozostała część zwałowiska oraz strefa brzegowa zostaną przeznaczone na tereny zielone – leśne oraz zadrzewieniowe, które będą pełnić funkcję bariery ochronnej obszarów zamieszkałych przed zanieczyszczeniami z tras komunikacyjnych.



- | | | |
|--|--|--|
| 1 – Rekultywacja leśna | 2 – Rekultywacja rolno-leśna | 5 – Rekultywacja gospodarcza (składowisko popiołów z elektrowni) |
| 3 – Rekultywacja leśna (strefy brzegowe) | 4 – Rekultywacja wodna (zbiornik infiltracyjno-retencyjny) | 6 – Rekultywacja gospodarcza (składowisko odpadów komunalnych) |
| 7 – Tereny zaplecza techniczno-biurowego | | |

Rys. 2. Proponowana koncepcja zagospodarowania obszaru po eksploatacji węgla brunatnego w rejonie Bełchatowa (na podstawie map topograficznych Polski 1:50 000 [56, 57])

Fig. 2. Proposed concept of redevelopment of open pits following lignite exploitation in the area of KWB Bełchatow (based on topographic maps of Poland, 1:50 000 [56, 57])

Obszar złoża „Szczerców” zostanie przeznaczony na tereny leśne, z skierowaniem na roślinność energetyczną. Takiemu rozwiązaniu sprzyja obecność elektrowni, a biomasa jest uznawana za odnawialne i przyjazne środowisku źródło energii. Ten kierunek zagospodarowania będzie wymagał budowy magazynów i pomieszczeń przeznaczonych na maszyny rolnicze konieczne do wykorzystania na obszarze planowanych upraw. Obszar wokół złoża „Szczerców” zostanie zagospodarowany analogicznie do złoża „Bełchatów” – powstaną tu tereny zielone (leśne oraz zadrzewieniowe). Strefy brzegowe przyległe do wyrobiska wraz z terenami wokół zbiorników zajmują powierzchnię prawie 1700 ha, co umożliwi stworzenie ścieżek rowerowych i pieszych. Bliskie sąsiedztwo terenów leśnych w obrębie zwałowiska wewnętrznego złoża „Bełchatów” stworzy kompleks przyrodniczo-krajobrazowy. „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Szczerców” sugeruje potrzebę stworzenia terenów dla ludzi szukających spokojnego wypoczynku. Kompleksy leśne oddalone od miasta, niesąsiadujące z dużymi ośrodkami turystycznymi umożliwiają taki sposób spędzania wolnego czasu.

Oddziaływanie prac rekultywacyjnych na warunki społeczne i środowisko

Prace rekultywacyjne rozpoczną się w 2019 r. po zakończeniu eksploatacji złoża „Bełchatów”. Zamknięcie zakładu górniczego spowoduje likwidację miejsc pracy i konieczność przekwalifikowania części pracowników, co umożliwi ich zatrudnienie w nowych zakładach pracy o odmiennym charakterze. Zaproponowane kierunki rekultywacji stworzą miejsca pracy dla wykwalifikowanych pracowników, bardziej atrakcyjne w porównaniu do istniejącej propozycji rekultywacji i zagospodarowania tego terenu.

Prace rekultywacyjne według proponowanej koncepcji będą wymagały określonej liczby pracowników zaraz po zakończeniu wydobycia. Zbiorniki wodne przeznaczone do celów rekreacyjnych zostałyby zalane dopiero w 2062 r., co skutkowałoby brakiem miejsc pracy mimo przekwalifikowania pracowników kopalni.

Likwidacja odkrywkowego zakładu górniczego wiąże się z odbudową zwierciadła wód podziemnych. Poprawa warunków gruntowo-wodnych przyczyni się do wzbogacenia środowiska naturalnego, a takie stanowiska leśne, jak bór bagienny, łęg jesionowo-olszowy oraz olszyny źródłiskowe zyskają lepsze warunki. Rekultywacja w kierunku leśnym powiększy już istniejące stanowiska i wzbogaci krajobraz. Zalesione obszary wokół wyrobiska oraz strefy brzegowe przyczynią się do wzbogacenia fauny i flory.

Zatapianie wyrobiska złoża „Bełchatów” może przyczynić się do zmiany jakości wody w zbiorniku. Różny stan wód sprawi, że jej jakość będzie wypadkową wydajności i jakości poszczególnych źródeł. Wody podziemne (o średniej mineralizacji) dopływające do zbiornika są dobrej jakości. Jednak podnoszące się zwierciadło spowoduje kontakt wód z wcześniej odwadnianymi fragmentami górotworu. Siarczki żelaza, a głównie piryty, mogą spowodować zmiany jakości wody. Doświadczenia z innych kopalni dowodzą, że stan wód może się pogorszyć. Dodatkowym zagrożeniem będą odcieki ze składowiska popiołów i odpadów komunalnych. Dlatego przed przystąpieniem do rekultywacji należy wykonać ocenę oddziaływania na środowisko, a w przypadku stwierdzenia zagrożenia podjąć stosowne działania. Wody z rejonu wysadu „Dębina” również mogą przyczynić się do pogorszenia jakości wody w zbiorniku. Należy pamiętać o umocnieniu wyrobisk, gdyż napływ tak znacznych ilości wód może powodować erozję i osuwanie się skarp. Zbocze południowe wyrobiska po złożu „Bełchatów” oraz zbocza południowe i wschodnie

złoża „Szczerców” są najbardziej narażone na ruchy mas gruntu. Odpowiednie warunki stateczności zostaną zapewnione dzięki zabiegom wypłycenia zbiornika oraz podzwalowania zbczy.

Prace rekultywacyjne mogą negatywnie wpłynąć na jakość powietrza atmosferycznego. Praca maszyn oraz urządzeń może powodować hałas oraz emisje zanieczyszczeń gazowych i pyłowych. W związku z tym urządzenia z silnikami spalinowymi muszą spełniać wymogi dotyczące dopuszczalnych emisji.

Zbiornik infiltracyjno-retencyjny przyczyni się do zwiększenia retencji wody na analizowanym terenie oraz spowoduje wzrost wilgotności powietrza ze względu na większe parowanie. W porze jesienno-zimowej częściej będą występować mgły, a temperatury w sąsiedztwie zbiornika będą nieco niższe niż obecnie.

Podsumowanie

Zaproponowana koncepcja rekultywacji i zagospodarowania wyrobisk poeksploatacyjnych w rejonie Bełchatowa ma na celu podniesienie atrakcyjności regionu w skali krajowej i międzynarodowej. Zaproponowane rozwiązania – zbiornik infiltracyjno-retencyjny, składowisko odpadów komunalnych z wykorzystaniem biogazu oraz rekultywacja gruntów z wykorzystaniem roślin energetycznych (na przykład konopi) powinny przyczynić się do zrównoważonego rozwoju gospodarczego regionu. Obecnie w obrębie zwałowiska zewnętrznego złoża „Szczerców” uprawiana jest robinia akacjowa, która do maksymalnego wzrostu potrzebuje pięciu lat – znacznie więcej niż konopie, a także miskant – mało odporny na niskie temperatury.

Sugerowane kierunki rekultywacji – leśny i rolny – korzystnie wpłyną na gospodarkę, a produkcja roślinna zwiększy atrakcyjność terenu dla inwestorów dzięki konieczności budowy zakładów wykorzystujących uzyskane plony, skutkując ogólnym rozwojem regionu. Tereny rolnicze przyniosą korzyści na większą skalę niż rekreacyjne, gdyż przyczynią się między innymi do stworzenia dodatkowych miejsc pracy.

Praca została sfinansowana w ramach badań statutowych wykonanych w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie (nr 11.11.140.797).

LITERATURA

1. G. MALINA, A. GUMUŁA-KAWĘCKA: Zrównoważona rewitalizacja „modelowego” terenu zdegradowanego z wykorzystaniem rozwiązań projektu Unii Europejskiej HOMBRE. W: J. SKOWRONEK [red.]: Innowacyjne rozwiązania rewitalizacji terenów zdegradowanych, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Katowice 2015, t. 7, ss. 165–182.
2. Materiały informacyjne PGE GIEK SA – Oddział KWB Bełchatów (www.kwbelchatow.pgegiek.pl).
3. Raport oddziaływaniu Zakładu Górniczego KWB Bełchatów na Środowisko. Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu PROXIMA SA, POLTEGOR-PROJEKT Sp. z o.o., PROGIG Sp. z o.o., Wrocław 2009 (materiały archiwalne KWB Bełchatów).
4. G. MALINA: Holistyczne podejście w gospodarowaniu terenami zdegradowanymi – projekt HOMBRE. W: G. MALINA [red.]: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych, PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań 2012, ss. 65–82.
5. J. KONDRACKI: Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa 1998.
6. L. STARKEL: Geografia Polski – środowisko przyrodnicze. PWN, Warszawa 1991.
7. A. WOŚ: Regiony klimatyczne Polski w świetle częstości występowania różnych typów pogody. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Toruń 1993, z. 20.
8. Atlas klimatu Polski. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (<http://old.imgw.pl/klimat>).
9. G. WACHOWIAK, G. GALINIAK, W. JOŃCZYK, R. MARTYNIAK: Ocena zmian odpływu w zlewni rzeki Widawki w roku hydrologicznym 2010 pod wpływem oddziaływania inwestycji górniczo-energetycznej w rejonie Bełchatowa. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2011, vol. 35, nr 3, ss. 381–395.
10. Mapa jednolitych części wód. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa 2017 (<http://geoportal.kzgw.gov.pl/gptkzgw/catalog/main/home.page>).
11. E. STUPNICKA: Geologia regionalna Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1997.
12. M. BARANIECKA: Budowa geologiczna rejonu bełchatowskiego. *Przegląd Geologiczny* 1980, vol. 7, ss. 381–390.
13. R. KRAJEWSKI: Bieżące problemy geologii kopalnianej. *Przegląd Geologiczny* 1980, vol. 7, ss. 392–396.
14. E. STACHURA, T. RATAJCZAK: Substancja mineralna w węglu brunatnym ze złoża „Bełchatów” (pole Bełchatów). *Prace Geologiczne* 2005, nr 153, s. 96.
15. A. SZYMKIEWICZ: Wiek węgla brunatnego na tle pozycji geologicznej badanych próbek (KWB „Bełchatów”). *Przegląd Geologiczny* 2000, vol. 11, ss. 1038–1044.
16. Mapa jednolitych części wód podziemnych. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (<http://epsh.pgi.gov.pl/epsh/>).
17. R. ZDECHLIK: Wpływ odwodnienia KWB Bełchatów na zmiany warunków hydrogeologicznych w rejonie wydobywania solnego Dębina. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków 2004.
18. B. PACZYŃSKI: Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1995.
19. J. MOTYKA, M. CZOP, W. JOŃCZYK, Z. STACHOWICZ, I. JOŃCZYK, R. MARTYNIAK: Wpływ głębokiej eksploatacji węgla brunatnego na zmiany środowiska wodnego w rejonie Kopalni „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2007, vol. 31, nr 2, ss. 477–487.
20. A. S. KLECZKOWSKI, A. RÓŻKOWSKI: Słownik hydrogeologiczny. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa 1997.
21. J. DOWGIAŁŁO [red.]: Słownik hydrogeologiczny. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2002.
22. J. KUSZNERUK: Lej depresyjny KWB „Bełchatów” – prognozy i rzeczywistość. Mat. konf. „Ochrona środowiska naturalnego w bełchatowskim okręgu przemysłowym”, Bełchatów 1987.
23. S. ZAWADZKI: Gleboznawstwo. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 1999.
24. J. M. MATUSZKIEWICZ: Zespoły leśne Polski. PWN, Warszawa 2008.
25. C. WOIŃSKI, S. MAKOWSKA, B. KUBIAK: Prawne i ekonomiczne aspekty naprawy szkód górniczych spowodowanych ruchem zakładu górniczego KWB „Bełchatów” SA. Mat. symp. „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, KWB „Bełchatów” SA, Rogowice 2004, ss. 321–334.
26. J. KLICH, K. POLAK: Problemy związane z odbudową stosunków wodnych na obszarach przekształconych przez kopalnie węgla brunatnego. Mat. konf. „Górnictwo odkrywkowe a ochrona środowiska, fakty i mity”, AGH, Kraków 1997, ss. 381–393.
27. W. SICIŃSKI, J. KUSZNERUK: Chemizm wód podziemnych w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów po 20 latach eksploatacji kopalni metodą odkrywkową. *Przegląd Geologiczny* 1997, vol. 45, nr 5, ss. 518–522.
28. S. TUREK: Warunki hydrogeochemiczne na obszarze objętym wpływem odwodnienia złóż węgla brunatnych w rejonie Bełchatowskim. *Przegląd Geologiczny* 1980, vol. 7, ss. 397–400.

29. A. KRZESIŃSKA, A. REDLIŃSKA-MARCYŃSKA, P. WILKOSZ, A. ŻELAŻNIEWICZ: Struktury hydratacyjne i deformacyjne w skałach czapy gipsowej wysadu solnego Dębiny w rowie Kleszczowa. *Przegląd Geologiczny* 2010, vol. 58, nr 6, ss. 522–530.
30. R. MARTYNIAK, W. SOŁTYS: Zmiany chemizmu wód podziemnych zachodzące na skutek odwadniania złoża węgla brunatnego „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2009, vol. 33, nr 2, ss. 307–316.
31. Największa w Polsce kopalnia węgla brunatnego. *Węgiel Brunatny* 2012, nr 1(78), ss. 26–32.
32. A. KARCZEWSKA: Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław 2012.
33. A. MACIEJEWSKA: Rekultywacja i ochrona środowiska w górnictwie odkrywkowym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
34. A. OSTRĘGA, R. UBERMAN: Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposób wyboru, klasyfikacja i przykłady. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2010, vol. 34, nr 4, ss. 445–461.
35. J. KWIATKOWSKA-MALINA, M. WYSZOMIERSKA: Zagospodarowanie obszarów po eksploatacji kruszyw naturalnych na przykładzie złoża Sitno w gminie Rzewnie. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 2014, nr II/3, ss. 705–717.
36. Z. KASZTELEWICZ, K. KOZIÓŁ, J. KLICH: Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych w kopalniach węgla brunatnego w Polsce. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2007, vol. 31, nr 2, ss. 295–307.
37. Z. KASZTELEWICZ, J. KACZOROWSKI: Rekultywacja i rewitalizacja kopalń węgla brunatnego na przykładzie kopalni „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2009, vol. 33, nr 2, ss. 187–212.
38. W. KRZAKLEWSKI, J. WÓJCIK, B. KUBIAK, J. DYMITROWICZ: Problemy rekultywacji leśnej zwałowiska zewnętrznego Pola Szczerców. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2011, vol. 35, nr 3, ss. 193–202.
39. J. DZIOPAK, J. HYPIAK, D. SŁYŚ: Zbiornik infiltracyjno-retencyjny ścieków deszczowych – innowacyjne udoskonalenia na tle stosowanych rozwiązań. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* 2011, nr 3(36), ss. 26–29.
40. J. DZIOPAK, J. HYPIAK, D. SŁYŚ: Zbiornik infiltracyjno-retencyjny ścieków deszczowych. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* 2011, nr 1(34), ss. 60–63.
41. J. CHMIELEWSKI: Lasy ochronne. Przyczynę do rozważań nad administracyjno-prawną problematyką lasów szczególnie chronionych. *Przegląd Prawa Ochrony Środowiska* 2014, vol. 4, ss. 83–111.
42. M. KOT: Wodochronne funkcje lasów. Mat. konf. „Lasy Tatr i Podtatrza, przeszłość i teraźniejszość”, Tatrzański Park Narodowy, Zakopane 2012.
43. J. ROSZYK, O. NOWOSIELSKI, A. KOMOSA: Przydatność ekstraktów z popiołu węgla brunatnego do nawożenia dolistnego kalafiora. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 2004, Ogródnictwo 37, ss. 189–197.
44. M. BOŻYM: Wykorzystanie pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego w gospodarce osadowej. *Prace Instytutu Szklania, Ceramiki, Materiałów Ogniwo- i Budowlanych* 2010, vol. 5, ss. 103–112.
45. T. RATAJCZAK, E. HYCENAR, W. JOŃCZYK, A. SKÓRZAK: Kompleksowe wykorzystanie kopalni towarzyszących a problemy rewitalizacji terenów pogórnich na przykładzie złoża węgla brunatnego „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2007, vol. 31, nr 2, ss. 519–532.
46. P. STRZAŁKOWSKI: Ochrona środowiska na terenach górniczych – wybrane problemy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Monografia nr 128, Gliwice 2007.
47. F. MACIAK: Ochrona i rekultywacja środowiska. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1999.
48. M. GILEWSKA, J. BENDER: Rekultywacja gruntów pogórnich a wartość użytkowa. Mat. konf. „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Ślesin k. Konina 2007, Instytut Gospodarki Surowcami i Energią PAN, ss. 99–105.
49. Rekultywacja terenów zdegradowanych w rejonie KWB Konin z zastosowaniem uprawy konopi włóknistych – EKOHEMPKON. Projekt LIFE11 ENV/PL/445.
50. J. MAŃKOWSKI, J. KOŁODZIEJ, P. BARANIECKI, W. MAKSYMIAK, A. KUBACKI, I. PNIEWSKA, K. PUDEŁKO: Rekultywacja terenów pogórnich węgla brunatnego za pomocą upraw konopi włóknistych i lucerny siewnej – kontynuacja realizacji projektu LIFE11ENV/PL/445. W: G. MALINA [red.]: Remediacja, Rekultywacja i Rewitalizacja, PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań 2017, ss. 167–195.
51. J. MAŃKOWSKI, J. KOŁODZIEJ, A. KUBACKI, P. BARANIECKI, I. PNIEWSKA, K. PUDEŁKO: Uprawa konopi włóknistych przyspieszająca rekultywację terenów pokopalnianych po odkrywcę węgla brunatnego. *Chemik* 2014, vol. 11, ss. 983–985.
52. J. MAŃKOWSKI, J. KOŁODZIEJ, P. BARANIECKI: Energetyczne wykorzystanie biomasy z konopi uprawianych na terenach zrehabilitowanych. *Chemik* 2014, vol. 10, ss. 901–902.
53. M. PIETRZYKOWSKI, J. SOCHA, W. KRZAKLEWSKI: Perspektywy pozyskania energii z biomasy drzewostanów na zrehabilitowanym zwałowisku zewnętrznym KWB „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2009, vol. 33, nr 2, ss. 373–381.
54. R.F. HÜTTL, E. WEBER: Forest ecosystem development in post-mining landscapes: A case study of the Lusatian lignite district. *Naturwissenschaften* 2001, Vol. 88, No. 8, pp. 322–329.
55. K. BAJOREK-ZYDRON, W. KRZAKLEWSKI, M. PIETRZYKOWSKI: Ocena zaopatrzenia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w składniki pokarmowe w warunkach zwałowiska zewnętrznego KWB „Bełchatów”. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2007, vol. 31, nr 2, ss. 67–74.
56. Mapa topograficzna Polski 1:50000, arkusz Kopalnia Bełchatów (M-34-27-B). Państwowa Służba Geodezyjna i Kartograficzna, Główny Geodeta Kraju, Warszawa 1995.
57. Mapa topograficzna Polski 1:50000, arkusz Szczerców (M-34-27-A). Państwowa Służba Geodezyjna i Kartograficzna, Główny Geodeta Kraju, Warszawa 1995.

Malina, G., Niezgoda, G. Sustainable Redevelopment Concept of Open Pits Following Lignite Exploitation in the Area of Belchatow. *Ochrona Środowiska* 2017, Vol. 39, No. 4, pp. 19–30.

Abstract: The concept of sustainable redevelopment of open pits following lignite extraction in the area of Belchatow (8,000 acres in total) was developed based on the analysis of strategic documents at voivodeship, county and municipality level. An innovative, holistic approach was proposed involving agricultural and forestry development following reclamation of

the excavation site with cannabis. Construction of a retention reservoir with a stormwater treatment system and of a municipal landfill site equipped with biogas recovery unit were proposed along with reclamation of mining waste materials. The innovative and sustainable redevelopment approach to lignite open pit mine in Belchatow should allow the mine to remain competitive in the future, while the city to become a leader in these innovative solutions.

Keywords: Lignite, excavation, reclamation, cannabis, rainwater reservoir, landfill, biogas.