



Authors' contribution/
Wkład autorów:
A. Zaplanowanie badań/
Study design
B. Zebranie danych/
Data collection
C. Analiza statystyczna/
Statistical analysis
D. Interpretacja danych/
Data interpretation
E. Przygotowanie tekstu/
Manuscript preparation
F. Opracowanie
piśmiennictwa/
Literature search
G. Pozyskanie funduszy/
Funds collection

**POSSIBILITIES OF USING PERENNIAL ENERGY CROPS
IN RECLAMATION OF DEGRADED LAND**

**MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WIELOLETNICH ROŚLIN ENERGETYCZNYCH
W REKULTYWACJI OBSZARÓW ZDEGRADOWANYCH**

**Katarzyna Radwańska^(A,B,C,D,E,F), Bogumiła Zadrożniak^(C,D),
Iwona Mystkowska^(E,F), Alicja Baranowska^(D,F)**

Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska
Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

Radwańska K., Zadrożniak B., Mystkowska I., Baranowska A. (2016), *Possibilities of using perennial energy crops in reclamation of degraded land/ Możliwości wykorzystania wieloletnich roślin energetycznych w rekultywacji obszarów zdegradowanych*. Economic and Regional Studies. Vol. 9, No. 4, pp. 70-85.

REVIEW ARTICLE

JEL code: Q15

Submitted:
February 2016
Accepted:
May 2016

Number of characters:
39 353

Tables: 2
Figures: 5
References: 47

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Klasyfikacja JEL: Q15

Zgłoszony:
lutym 2016
Zaakceptowany:
maj 2016

Liczba znaków ze spacjami:
40 266

Tabele: 2
Rysunki: 5
Literatura: 47

Summary

Subject and purpose of work: The work is of a review character. The present paper aims to introduce basic definitions related to degradation and reclamation of the areas with lower use value, and also to present the most important species of perennial energy crops, which can be possibly used in the reclamation of degraded soils.

Materials and methods: This work is based on collected information concerning soil degradation, perennial energy crops and their use in the reclamation.

Results and conclusions: Characteristics of recommended species of perennial energy crops to a reclamation of degraded soils: willow, Virginia fanpetals, the Jerusalem artichoke, giant miscanthus, amur silver-grass, prairie cordgrass, rosa rugose, black locust, ashleaf maple has been presented. The analysis of the soil degradation in Lublin Voivodeship has been based on the professional literature. On that basis, the plants which would be the best in the reclamation of this area have been chosen. This work also takes into account the estimated costs of establishing plantations of these plants.

Keywords: reclamation, energy crops, degraded lands

Streszczenie

Przedmiot i cel pracy: Praca ma charakter przeglądu, jej celem jest przybliżenie podstawowych definicji związanych z degradacją i rekultywacją terenów o obniżonej wartości użytkowej, a także przedstawienie najważniejszych gatunków wieloletnich roślin energetycznych, możliwych do zastosowania w rekultywacji gleb zdegradowanych.

Materiały i metody: Niniejsza praca powstała na podstawie zebranych informacji źródłowych dotyczących degradacji gleb, wieloletnich roślin energetycznych oraz ich wykorzystania w rekultywacji.

Wyniki i wnioski: Przedstawiono charakterystykę polecanych do rekultywacji gleb zdegradowanych gatunków wieloletnich roślin energetycznych: wierzby, ślazuwca pensylwańskiego, słonecznika bulwiastego, miskanta olbrzymiego, miskanta cukrowego, spartiny preriowej, róży wielokwiatowej, robinii akacjowej i klonu jesionolistnego. Na podstawie literatury fachowej dokonano analizy degradacji gleb w województwie lubelskim, i na tej podstawie wybrano rośliny, które najlepiej sprawdziłyby się w rekultywacji tego obszaru. W pracy uwzględniono również szacunkowe koszty założenia plantacji tych roślin.

Słowa kluczowe: rekultywacja, rośliny energetyczne, tereny zdegradowane

Address for correspondence/ Adres korespondencyjny: dr inż. Katarzyna Radwańska, dr inż. Bogumiła Zadrożniak, dr Iwona Mystkowska, dr inż. Alicja Baranowska, Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska, Faculty of Economic and Technical, Department of Technical Sciences, Sidorska 105, 21-500 Biała Podlaska, Poland; phone: +48 83 344 99 00; e-mail: katarzyna.radwanska@yahoo.com;

Journal indexed in/ Czasopismo indeksowane w: AgEcon Search, AGRO, BazEkon, Index Copernicus Journal Master List, ICV 2015: 81,26; Polish Ministry of Science and Higher Education 2016: 9 points/ AgEcon Search, AGRO, BazEkon, Index Copernicus Journal Master List ICV 2015: 81,26; Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego 2016: 9 punktów. **Copyright:** © 2016 Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska, Katarzyna Radwańska, Bogumiła Zadrożniak, Iwona Mystkowska, Alicja Baranowska. All articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

Introduction

The soil is a biologically active Earth's surface layer and the main component of the natural environment. It plays a crucial role in productions, retentions and sanitary processes. It also enables cultivation of plants, thereby protecting nutritional needs of men. Soil-forming processes occur constantly but very slowly, however, the process of soil degradation may sometimes occur very quickly. The reasons for this phenomenon may vary greatly. However, the effect of soil degradation is a destruction of ecological and productive value of soil.

The purpose of the study is to present causative factors of soil degradation, methods of its reclamation and also the presentation of species of perennial energy crops which are used in this process. The work also demonstrates the possibilities of using these plants on the chemical degraded land in Lublin Voivodeship and it also takes into account estimated costs of establishing plantations.

Degradation and degraded area

In accordance with the act in force concerning the protection of agricultural and forest land of February 3, 1995 (consolidated text - Journal of Laws of 2015, item. 909), "degraded lands are lands the agricultural or forest use value of which has declined, particularly as a result of deterioration in natural conditions, environmental changes, industrial activity, as well as faulty agricultural activity". According to Ferber et al. (2006), degraded areas include lands which have suffered due to previously applied methods of their management or management of surrounding lands, and are desolated, underused and contaminated lands which need actions to be taken in order to restore the profitability of their reuse. The effect of the degradation is both a decline in quality and quantity of received crop or plant biomass. (Jakubiak 2010). Apart from degraded areas there are also devastated areas which have completely lost their use value because of deterioration in the natural conditions, environmental changes, industrial activity, as well as due to faulty agriculture activity (Journal of Laws of 2015, item. 909). We can usually witness soil devastation on the areas which are totally changed by human activity, such as mining and industrial areas or highly urbanised areas. Properties of devastated soils cannot be restored, even by reclamation actions. It is considered that devastated areas are useless for any kind of management because they are usually heavily contaminated and without vegetation (Jakubiak 2010).

Natural or anthropogenic factors may be the reason for land degradation. The main causes of natural degradation are floods, mass movement, erosion, karst, windstorms, earthquakes, tsunamis and also fires. Anthropogenic degradation is caused by urbanisation of the natural environment. The

Wstęp

Gleba jest biologicznie czynną warstwą powierzchniową ziemi i głównym elementem środowiska przyrodniczego. Odgrywa bardzo istotną rolę w procesach produkcyjnych, retencyjnych oraz sanitarnych, umożliwia uprawę roślin, zabezpieczając tym samym potrzeby żywnościowe człowieka. Procesy glebotwórcze przebiegają stale aczkolwiek bardzo powoli, natomiast procesy degradacji, którym gleba jednocześnie podlega, przebiegają niekiedy bardzo szybko. Przyczyny tego zjawiska mogą być różne a jego skutkiem jest między innymi niszczenie jej ekologicznej i produkcyjnej wartości.

Celem opracowania jest przedstawienie czynników sprawczych degradacji gleby, sposobów jej rekultywacji oraz przybliżenie gatunków wieloletnich roślin energetycznych, wykorzystywanych w tym procesie. W pracy omówiono również możliwości wykorzystania wybranych roślin na chemicznie zdegradowanych terenach województwa lubelskiego, uwzględniając szacunkowe koszty założenia plantacji.

Degradacja i obszar zdegradowany

Grunty zdegradowane według obowiązującej Ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych z dnia 3 lutego 1995 (tekst jednolity – Dz.U. z 2015 poz. 909) „to grunty, których rolnicza lub leśna wartość użytkowa zmalała, w szczególności w wyniku pogorszenia się warunków przyrodniczych albo wskutek zmian środowiska oraz działalności przemysłowej, a także wadliwej działalności rolniczej”. Ferber i współautorzy (2006) do obszarów zdegradowanych zaliczają takie tereny, które ucierpiały w wyniku wcześniejszych sposobów ich zagospodarowania oraz zagospodarowania terenów okolicznych, są opuszczone bądź słabo wykorzystywane, są zanieczyszczone i wymagają podjęcia działań mających na celu przywrócenie opłacalności ponownego ich wykorzystania. Skutkiem degradacji, jest zarówno spadek jakości jak i ilości otrzymywanych plonów bądź biomasy roślinnej (Jakubiak 2010). Obok terenów zdegradowanych wymienia się także tereny zdewastowane, które utraciły całkowicie wartość użytkową w wyniku pogorszenia się warunków przyrodniczych albo wskutek zmian środowiska oraz działalności przemysłowej, a także wadliwej działalności rolniczej (Dz.U. z 2015 poz. 909). Przeważnie z dewastacją gleb spotykamy się na obszarach zupełnie przekształconych w wyniku działalności człowieka, takich jak obszary górnicze, przemysłowe czy silnie zurbanizowane. Właściwości gleb zdewastowanych nie można przywrócić nawet poprzez działania rekultywacyjne. Tereny zdewastowane uznaje się za nieprzydatne do żadnego sposobu zagospodarowania, są one zwykle silnie skażone i pozbawione roślinności (Jakubiak 2010).

Przyczyną degradacji terenu mogą być czynniki naturalne bądź antropogeniczne. Za źródła degradacji naturalnej uznawane są: powodzie, ruchy masowe, erozja, kras, huragany, trzęsienia ziemi, tsunami, a także pożary. Degradacja antropogeniczna spowodowana jest urbanizacją środowiska przyrodniczego. Główny-

main factors which have an impact on anthropogenic degradation are: mining, chemical and power industry, waste management and its disposal, transport, construction, tourism and agriculture. The result of the transformation caused by the degradation is the development of new, specific habitat for plants (Frankowski et al. 2012).

In subject literature (Gasidło 1998, Glapa 2004, Ostreǳa, Uberman 2010), the land which is degraded by human activity can be divided into three types. The first group is formed by contaminated lands (or just some of their parts), which show management potential or built-up areas with a purpose other than the original. These areas are defined as: „brownfield”. Brownfield does not contain the lands which are degraded as a result of an industrial or mining activity. Degraded, unused or not fully used areas, which were originally intended for economic activity, and those which were used for industrial production belong to the second group of post-industrial areas. The third group contains post-mining lands which are a result of the exploitation of minerals by opencast, underground or borehole mining. These areas are characterized by the presence of the opencast excavation, land depression, mining waste, heap waste and mining buildings which are left after the process of exploitation.

As a result of human activity, there is a change in the soil environment which has a geomechanical character (destruction or damage of the soil cover), hydrological character (related to disturbance of water quality) and chemical character (Siuta 2009, Jakubiak 2010). Chemical changes are the most dangerous. They are mainly the result of pollution coming from industry, transport, municipal dust and gas emission and also an intensification of crop production, through excessive use of agrochemicals. Contaminants that affect the chemical degradation may be present in a solid, liquid and gaseous phase (Frankowski et al., 2012). Only a small amount of pollution gets to the soil. First, the pollution is emitted into the atmosphere and then permeated to the substratum (Jakubiak 2010). Chemical transformation of soils is formed when the contaminant is present in such high concentrations that it cannot be neutralised by the environment. The results of chemical degradation of soil are the change of chemical properties of the soil (acidification, alkalization, salinity, change of the amount of phytotoxic and zootoxic), the disorder of the hydrogeological substrate and reduction of nutrients and microelements. The result is a disruption of normal development, crops growth and plants yield, the decline of their health and a reduction in species richness of flora and fauna. In contrast to the geomechanical and hydrological transformation, transformations of soil which have chemical origins may be unnoticed for a long time. The vegetation appearance warns us about possible shortages or excess of certain elements (Siuta 2009, Jakubiak 2010, Frankowski et al. 2012).

mi czynnikami mającymi na nią wpływ są: przemysł (m.in. górniczy, chemiczny, energetyczny), gospodarowanie odpadami a szczególnie ich składowanie, transport, budownictwo a także turystyka i rolnictwo. Rezultatem przekształceń spowodowanych degradacją jest powstanie nowego, specyficznego dla roślin środowiska bytowania (Frankowski i in. 2012).

W literaturze fachowej (Gasidło 1998, Glapa 2004, Ostreǳa, Uberman 2010) ze względu na przyczynę degradacji w wyniku działalności człowieka, tereny zdegradowane dzieli się na trzy rodzaje. Pierwszą grupę tworzą tereny (bądź tylko ich część) zanieczyszczone, które wykazują potencjał zagospodarowania, bądź obszary zabudowane, o przeznaczeniu innym niż pierwotne. Tereny te określane są terminem „brownfield”. Do terenów tych, nie zalicza się zdegradowanych w następstwie działalności przemysłowej lub górniczej. Do drugiej grupy - terenów poprzemysłowych - należą obszary zdegradowane, nieużytkowane bądź nie w pełni użytkowane, które początkowo przeznaczone były pod działalność gospodarczą, oraz te, na których prowadzono produkcję przemysłową. Trzecią grupę tworzą tereny poeksploatacyjne, które powstały jako wynik eksploatacji kopalni metodą odkrywkową, podziemną lub otworową. Obszary te charakteryzują się występowaniem wyrobisk odkrywkowych, obniżeniami terenu, odpadów górniczych, zwałowisk nakładu oraz bazy obiektów kopalń, pozostałych po procesie eksploatacji.

W wyniku działalności człowieka następuje zmiana środowiska glebowego o charakterze geomechanicznym (zniszczenie lub uszkodzenie pokrywy glebowej), hydrologicznym (dotyczy zaburzenia stosunków wodnych) oraz chemicznym (Siuta 2009, Jakubiak 2010). Do najgroźniejszych należą zmiany typu chemicznego, które powstają przede wszystkim wskutek zanieczyszczeń pochodzących z przemysłu, komunikacji, komunalnych emisji pyłowych oraz gazowych, a także intensyfikacji produkcji roślinnej, poprzez nadmierne używanie agrochemikaliów. Substancje zanieczyszczające, które mają wpływ na degradację chemiczną, mogą występować w fazie stałej, ciekłej i gazowej (Frankowski i in. 2012). Wprost do gleby dostaje się jedynie niewielka część zanieczyszczeń. Pozostałe, najpierw emitowane są do atmosfery a następnie - przenikają do podłoża (Jakubiak 2010). Przekształcenia chemiczne gleb powstają wtedy, gdy czynnik zanieczyszczający występuje w tak wysokim stężeniu, iż nie może zostać zneutralizowany przez środowisko. Wskutek degradacji chemicznej następuje zmiana właściwości chemicznych gleb (zakwaszenie, alkalizacja, zasolenie, zmiana ilości substancji fito- i zotoksycznych), zaburzenie warunków hydrogeologicznych podłoża oraz obniżenie w nim zawartości składników pokarmowych i mikroelementów. Rezultatem jest zakłócenie prawidłowego rozwoju, wzrostu i plonowania roślin, spadek ich zdrowotności oraz zmniejszenie bogactwa gatunkowego flory i fauny. W przeciwieństwie do przekształceń geomechanicznych i hydrologicznych, przekształcenia gleby pochodzenia chemicznego mogą być bardzo długo niedostrzegalne. To dopiero roślinność, swoim wyglądem, alarmuje o ewentualnych niedoborach lub nadmiarach określonych pierwiastków (Siuta 2009, Jakubiak 2010, Frankowski i in. 2012).

Reclamation of devastated and degraded land

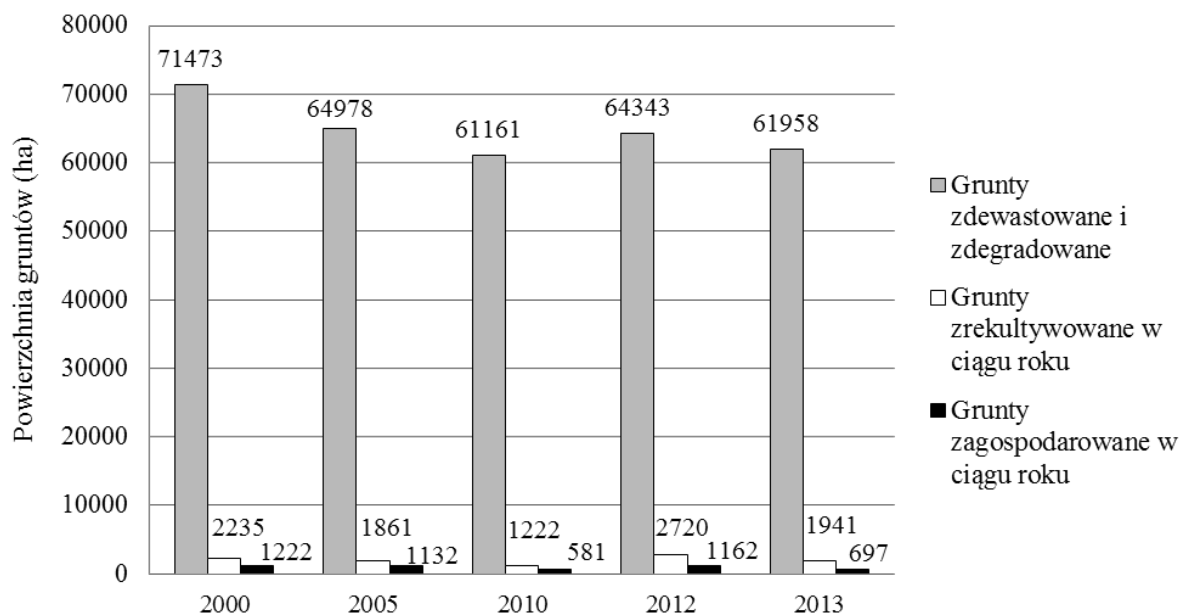
In accordance with Article 4, item. 18 of the Act on protection of agricultural land and woodland of February 3, 1995 (Journal of Laws of 2015, item 909) devastated and degraded land may be retrieved or it may obtain a new use value or natural value, through the appropriate landform, improvement in chemical and physical properties, control of water quality, restoration of degraded soils, embankments strengthening and also reconstruction or construction of essential roads. After the process of reclamation, it is necessary to proceed to the management of reclaimed lands, that is, use them for the purposes of agriculture, forestry or in another way. (Journal of Laws of 2015, item. 909).

According to data from the Central Statistical Office in Poland, at the end of 2013, devastated and degraded land constituted nearly 62000 ha. During the year, the surface of reclaimed and managed land was incomparably lower and did not exceed in total 3000 ha (fig.1).

Rekultywacja terenów zdegradowanych i zdewastowanych

Grunty zdegradowane lub zdewastowane można poddać rekultywacji, czyli zgodnie z art. 4, pkt 18. Ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych z dnia 3 lutego 1995 (Dz.U. z 2015 poz. 909) przywrócić bądź nadać im wartość użytkową lub przyrodniczą poprzez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu, poprawę właściwości fizycznych i chemicznych, regulację stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp a także odbudowę lub budowę niezbędnych dróg. Po przeprowadzeniu rekultywacji konieczne jest przystąpienie do zagospodarowania obszarów zrekultywowanych, czyli do użytkowania ich rolniczo, leśnie lub w inny sposób (Dz.U. z 2015 poz. 909).

Według danych GUS w Polsce w końcu roku 2013 grunty zdegradowane i zdewastowane stanowiły blisko 62000 ha. Powierzchnia terenów zrekultywowanych oraz zagospodarowanych w ciągu roku była nieporównywalnie niższa i nie przekraczała w sumie 3000 ha (rys.1).



Powierzchnia gruntów - land area

Grunty zrekultywowane w ciągu roku - Recultivated land during the year

Grunty zdewastowane i zdegradowane - Devastated and degraded land

Grunty zagospodarowane w ciągu roku - Land managed during year

Figure 1. Devastated and degraded land in Poland requiring reclamation and management as well as reclaimed and managed land

Rysunek 1. Grunty zdewastowane i zdegradowane na terenie Polski, wymagające rekultywacji i zagospodarowania oraz grunty zrekultywowane i zagospodarowane

Source: own elaboration based on data of the Ministry of Agriculture and Rural Development.

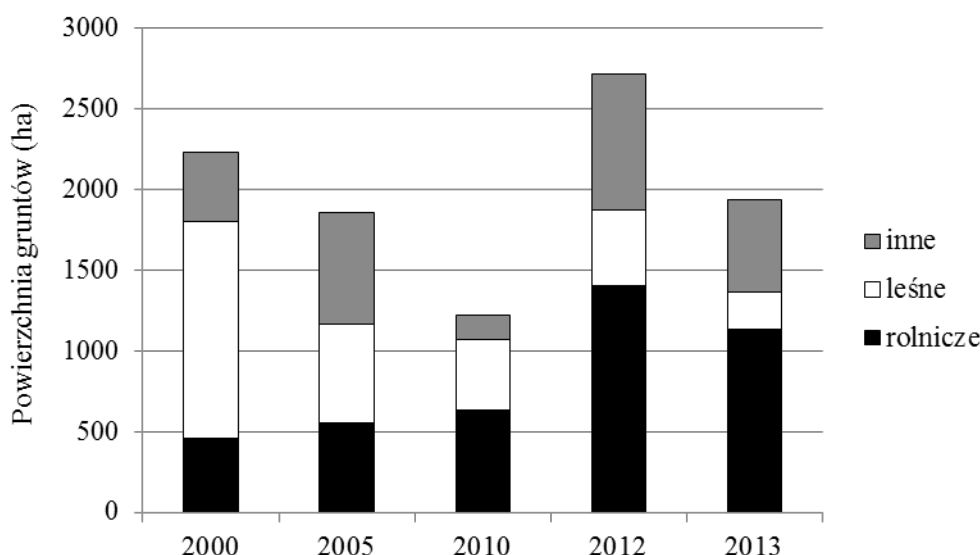
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Reclamation of degraded land has different directions of land use. There is water, special, forestry and agricultural direction and each of these directions depends on predicted management of reclaimed land (Karczewska 2008, Siuta 2009, and Jakubiak 2010).

Rekultywacja terenów zdegradowanych prowadzona jest w kierunku wodnym, specjalnym, leśnym i rolnym, w zależności od przewidywanego zagospodarowania obszaru zrekultywowanego (Karczewska 2008, Siuta 2009, Jakubiak 2010).

The special reclamation includes activities related to the management of the land designated for recreation and construction, as well as for the preparation for mining waste stockpile (post-mining excavation) (Ostręga, Uberman 2010, Frankowski et al. 2012). Water reclamation is mostly applied to areas of mining excavations and it involves an arrangement of recreational, farm or ecological water reservoir (Ostręga, Uberman 2010 Frankowski et al. 2012). the forestry reclamation is intended for preparing the land for forests, plantations and tree-covered areas. It is also a frequent way of reclamation of heap waste of opencast mining. Tree-covered areas have soil protecting and water protecting functions, and they also provide the "buffer zones" around industrial areas (Karczewska 2008 Siuta 2009 Frankowski et al. 2012). The aim of the agricultural reclamation is to prepare the land for use and then for agricultural and horticultural production (arable land, gardens, orchards, meadows, pastures etc.) In Poland, forest and agricultural reclamations have been carried out for the past few years (fig. 2, fig. 3).

Rekultywacja specjalna obejmuje działania związane z zagospodarowaniem terenu z przeznaczeniem rekreacyjnym i budowlanym a także przygotowanie go pod składowiska odpadów (wzrostki pogórnictwa) (Ostręga, Uberman 2010, Frankowski i in. 2012). Rekultywacja o charakterze wodnym najczęściej stosowana jest na terenach wyrobisk górniczych i obejmuje przygotowanie rekreacyjnego, hodowlanego lub ekologicznego zbiornika wodnego (Ostręga, Uberman 2010, Frankowski i in. 2012). Rekultywacja leśna ma za zadanie przygotowanie terenu pod lasy, plantacje oraz tereny zadrzewione i jest bardzo częstym sposobem rekultywacji zwałowisk nadkładu kopalni odkrywkowych. Zadrzewienia i zakrzewienia stanowią funkcje glebochronne i wodochronne a także stanowią „strefy buforowe” wokół terenów przemysłowych (Karczewska 2008, Siuta 2009, Frankowski i in. 2012). Rekultywacja rolna ma na celu przygotowanie terenu do użytkowania a następnie do produkcji rolniczej i ogrodniczej (grunty orne, ogrody, sady, łąki, pastwiska itp.). W Polsce od kilku lat najczęściej prowadzi się głównie prace nad rekultywacją w kierunku leśnym i rolniczym (rys.2, rys.3).



Inne - other
 Leśne - forestry
 Rolnicze - agricultural

Figure 2. The structure of the directions reclamation of devastated and degraded land in Poland

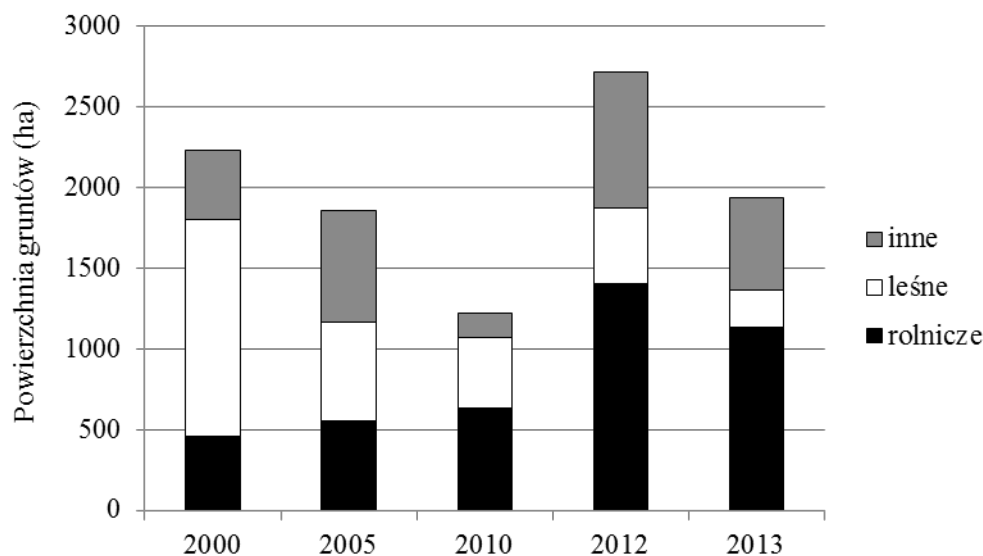
Rysunek 2. Struktura kierunków rekultywacji gruntów zdewastowanych i zdegradowanych na terenie Polski

Source: own elaboration based on data of the Ministry of Agriculture and Rural Development.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

The selected direction of reclamation allows for taking appropriate actions. Reclamation treatments include: preparatory (documentary), technical (basic) and biological (detailed) phase. The first preparatory phase should contain: the identification of factors which determine the proper reclamation, and a collection of all necessary documentation for reclamation activities which should be made on degraded land. The technical phase includes a scope

Wybrany kierunek rekultywacji pozwala na podjęcie odpowiednich działań. Zabiegi rekultywacyjne obejmują: fazę przygotowawczą (dokumentacyjną), techniczną (podstawową) oraz biologiczną (szczegółową). W pierwszej fazie przygotowawczej należy dokonać rozpoznania czynników, które warunkują prawidłowość rekultywacji, a także skompletować całą niezbędną dokumentację dotyczącą działań rekultywacyjnych, które mają być przeprowadzone na



Inne - other

Leśne - forestry

Rolnicze - agricultural

Figure 3. The structure of devastated and degraded land in Poland

Rysunek 3. Struktura zagospodarowania gruntów zdewastowanych i zdegradowanych na terenie Polski

Source: own elaboration based on data of the Ministry of Agriculture and Rural Development.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

of works which are related to landform, control of water qualities, and neutralisation of contaminated areas and fertilisation of barren land, embankments strengthening, and also the creation of the infrastructure which is required for the proper use of the land. The last stage (biological reclamation) is aimed at making soil layer on the surface of the degraded area, the restoration of biological life and the fertilisation of the soil. The detailed phase includes soil and water protection against pollution, the use of agro-technological renovation and proper fertilization, as well as the introduction of herbaceous, woody and shrubby plants which produce humus; these plants may be settled spontaneously or deliberately introduced by a man (Baran 2010, Jakubiak 2010, Ostreġa, Uberman 2010, Frankowski et al. 2012).

The reclamation of plants which is introduced in the biological phase has many advantages, for example, it activates and stimulates soil-forming processes in surface layers. The developing root system penetrates the soil and in this way, it takes nutrients from deep layers of soil and then transports them to the above ground plant parts, where they subsequently die and decompose on the surface, and their elements are washed back into the soil (Baran 2000, Siuta 2009, Jakubiak 2010).

Energy crops are very useful in the biological phase of reclamation of degraded land. They are characterized by a huge increment in biomass in a relatively short period of time. Energy crops are also easy to grow and comparatively resistant to pathogens and pests. They are often pioneering plants. They begin the soil-forming processes and

zdegradowanym terenie. Faza techniczna obejmuje zakres prac związanych z ukształtowaniem rzeźby terenu, regulacją stosunków wodnych, neutralizacją terenów skażonych i użyczeniem jałowych, umacnianiem skarp, a także stworzeniem infrastruktury wymaganej do właściwego wykorzystania terenu. Ostatni etap (rekultywacja biologiczna) ma na celu wykształcenie warstwy gleby na powierzchni obszaru zdegradowanego, przywrócenie życia biologicznego oraz użyczenie gleby. Faza szczegółowa obejmuje: ochronę gruntów i wód przed zanieczyszczeniem, zastosowanie zabiegów agrotechnicznych i odpowiedniego nawożenia, a także wprowadzenie zielnych, drzewiastych i krzewiastych roślin próchnicotwórczych (mogą być zasiedlone w wyniku sukcesji samorzutnej bądź celowo wprowadzone przez człowieka) (Baran 2010, Jakubiak 2010, Ostreġa, Uberman 2010, Frankowski i in. 2012).

Wprowadzona w fazie biologicznej rekultywacji roślinność przynosi wiele korzyści, m.in. aktywuje rozwój biologiczny oraz pobudza procesy glebotwórcze w warstwach przypowierzchniowych. Rozwijający się system korzeniowy penetruje głębie pobierając składniki pokarmowe z głębszych warstw a następnie transportuje je do części nadziemnych rośliny, która obumierając, rozkłada się na powierzchni, skąd pierwiastki są wymywane z powrotem do gleby (Baran 2000, Siuta 2009, Jakubiak 2010).

W fazie biologicznej rekultywacji terenów zdegradowanych szczególnie przydatne są rośliny energetyczne. Charakteryzują się one dużymi przyrostami biomasy w relatywnie krótkim okresie czasu, są łatwe w uprawie i stosunkowo odporne na patogeny i szkodniki. Często są to rośliny pionierskie, rozpoczynają

inhibit the leaching of components from the soil into groundwater. These features allow for the use of energy crops for the cultivation of the soils which are less fertile or contaminated, and also for the disposal of sewage sludge, which enables the implementation of alternative agricultural production in degraded land and on non-productive areas (Majtkowski et al. 1996, Kabbalah et al. 2010). Under the common agricultural and environmental policy of the European Union, the perennial plantation which is grown for energy purposes can have a special function. Farming species of perennial energy crops facilitates the future succession of trees and shrubs. The great advantage of energy crops is their ability to adopt, especially to degraded and devastated industrial areas. In these areas, energy crops have energy and reclamation function (Stanczyk et al. 2005). Thanks to a high ability to accumulate pollutant in the root system (mainly heavy metals), crops plantations for power purposes may be successfully used in the reclamation of polluted soil through phytoremediation (Majtkowski et al. 1996, (Stanczyk et al. 2005, Gostomczyk 2008 Ociepa et al. 2008 Kabbalah et al. 2010). Phytoremediation is the natural ability of some species of plants to accumulate heavy metals. Despite the fact that these plants accumulate the average amounts of heavy metals, it is crucial to take heavy metals up because of a huge increase in biomass. These plants should be distinguished by a relatively high tolerance to toxic substances, and a high capacity of taking them up and accumulation in tissues. Plants grown for energy purposes fulfil these all conditions (Łaska, Nazaruk 2015).

Perennial energy crops used in reclamation

In the reclamation process, the following perennials crops are used for energy purposes: willow (*Salix* sp.) (Stanczyk et al. 2005, Klimont 2007, Jakubiak 2010, Kabała et al. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011, Zarębski 2014), Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby.) (Klimont, Bulińska-Radomska 2013, Kabała et al. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011, the Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) (Kowalczyk-Juśko 2003, Klimont 2007, 2012, Borkowska et al. 2001, Klimont, Bulińska-Radomska 2008, 2009, 2011, Sawicka et al. 2012), perennial grasses: Giant miscanthus (*Miscanthus × giganteus*), Amur silvergrass (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.), prairie cordgrass (*Spartina pectinata* Bosc ex Link) (Klimont 2007, Kabała et al. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011, Łaska, Nazaruk 2015), ashleaf maple (*Acer negundo* L.) (Frączek et al. 2009), black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) (Kabała et al. 2010), Rosa rugosa (*Rosa multiflora* Thumb.) (Kabała et al. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011).

In Poland, the willow is undoubtedly the most significant from all energetic crops (Stanczyk et al. 2005, Radziejewicz 2009). It is a perennial plant (the life span is estimated from 15 to 20 years), which

one procesy glebotwórcze oraz hamują wypłukiwanie składników z gleby do wód gruntowych. Cechy te, pozwalają na wykorzystanie roślin energetycznych pod uprawę gleb mało urodzajnych czy skażonych i utylizację osadów ściekowych, co daje możliwość wdrażania alternatywnej produkcji rolnej na terenach zdegradowanych i niskoprodukcyjnych (Majtkowski i in. 1996, Kabała i in. 2010). W obliczu założeń wspólnej polityki rolnej a także polityki ochrony środowiska Unii Europejskiej szczególną funkcję mogą pełnić wieloletnie plantacje roślin uprawiane na cele energetyczne. Uprawa gatunków wieloletnich roślin energetycznych ułatwia późniejszą sukcesję drzew i krzewów. Ogromną zaletą roślin energetycznych jest ich bardzo duża umiejętność adaptacji, szczególnie na zanieczyszczonych i zdewastowanych przemysłowo obszarach. Na terenach tych, rośliny energetyczne mogą spełniać rolę energetyczną oraz rolę rekultywacyjną (Stanczyk i in. 2005). Plantacje roślin uprawianych na cele energetyczne, ze względu na wysokie zdolności do akumulacji zanieczyszczeń w systemie korzeniowym (przede wszystkim metali ciężkich), mogą być wykorzystane z powodzeniem w metodzie fitoremediacyjnej rekultywacji gleb zanieczyszczonych chemicznie (Majtkowski i in. 1996, Stanczyk i in. 2005, Gostomczyk 2008, Ociepa i in. 2008, Kabała i in. 2010). Fitoremediacja to naturalna umiejętność niektórych gatunków roślin do akumulacji metali ciężkich. Rośliny takie, pomimo iż akumulują przeciętne ilości metali ciężkich, to ze względu na bardzo duży przyrost biomasy, całkowite pobieranie metali jest znaczne. Rośliny te powinny wyróżniać się stosunkowo wysoką tolerancją wobec substancji toksycznych, a także wysoką zdolnością ich pobierania i akumulacji w tkankach. Rośliny uprawiane na cele energetyczne spełniają te warunki (Łaska, Nazaruk 2015).

Wieloletnie rośliny energetyczne wykorzystywane w rekultywacji

W procesie rekultywacji wykorzystuje się wieloletnie rośliny uprawiane na cele energetyczne, takie jak: wierzba (*Salix* sp.) (Stanczyk i in. 2005, Klimont 2007, Jakubiak 2010, Kabała i in. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011, Zarębski 2014), ślaziowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby.) (Klimont, Bulińska-Radomska 2013, Kabała i in. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011), słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus* L.) (Kowalczyk-Juśko 2003, Klimont 2007, 2012, Borkowska i in. 2001, Klimont, Bulińska-Radomska 2008, 2009, 2011, Sawicka i in. 2012), trwawy wieloletnie: miskant olbrzymi (*Miscanthus × giganteus*), miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.), spartina preriowa (*Spartina pectinata* Bosc ex Link) (Klimont 2007, Kabała i in. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011, Łaska, Nazaruk 2015), klon jesionolistny (*Acer negundo* L.) (Frączek i in. 2009), robinia akacja (*Robinia pseudoacacia* L.) (Kabała i in. 2010), róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora* Thumb.) (Kabała i in. 2010, Dudkiewicz, Bolibok 2011).

W Polsce niewątpliwie największe znaczenie spośród wszystkich roślin energetycznych ma wierzba (Stanczyk i in. 2005, Radziejewicz 2009). Jest rośliną

has relatively low environmental and climatic requirements, and also high tolerance to habitat conditions (Dubas 2003, Jakubiak 2010). Willow is useful in biological reclamation on areas after waste disposal or industrial waste heaps. Both *S. viminalis* (Zarębski 2014) and also *Salix purpurea* and *S. eleagnos* (Dubas 2003) can be planted on highly toxic municipal waste stockpiles. Species of willows such as *Salix americana*, *S. amygdalina*, *S. alba*, *S. fragalis* can be planted on agriculturally degraded areas. These varieties show high tolerance to soil acidification and consequently, they can be successfully used for the reclamation of stockpile of the post-mining heaps (Dubas 2003). Shrubby varieties of willow are used in the reclamation of industrial wasteland. They also can be used for management of protection area around factories. Willow is also a highly valued plant. It is used in reclamation because of its ability to accumulate heavy metals: mainly cadmium and zinc, and also copper, lead, mercury, nickel and caesium. Some of the varieties of willow are characterized by high tolerance to soil acidification (Dubas 2003, Jakubiak 2010, Kabała et al. 2010).

Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby.) is a species that attracts growing interest in the field of *agroenergetics*. The circumstances which speak in favour of this plant are the low climate and soil requirements of this species. This plant can be cultivated in sandy soils, acidic or highly acidic soils, degraded soils and in the grounds excluded from agricultural use (Borkowska et al. 2001, Borkowska, Styk 2006, Klimont, Bulińska-Radomska 2013, Moździerz, Krzywy 2013). Virginia fanpetals is a perennial plant (it is adjusted to 20 years of cultivation) of a strong root system which makes that plant remarkably enduring and recommended as a species used in the reclamation of chemically degraded soils (Borkowska, Styk 2006). Furthermore, this species is characterised by a high ability to absorb heavy metals which are retained in the biomass (Jasiewicz, Antonkiewicz 1999). Virginia fanpetals accumulates substantial amounts of such heavy metals as: cadmium, nickel, lead, copper, and manganese (Jasiewicz, Antonkiewicz 1999, Moździerz, Antonkiewicz et al. 2006, Moździerz, Krzywy 2013). Moreover, in her studies Ignatowicz (2015) demonstrated that Virginia fanpetals can be used in the *phytoreclamation* of pesticide-contaminated soils, and especially in prolonging the longevity of the sorptive barrier surrounding waste repositories. The effectiveness of this species in reclamation is also determined by the soil forming process – the formation of lumpy soil structure and improvement of physicochemical properties of soil (Borkowska, Wardzińska 2003, Wardzińska 2000). Klimont and Bulińska-Radomska (2013) showed that if a land is devastated by the borehole sulphur mining, covered with post-flotation lime, and fertilised with sewage sludge, the usage of Virginia fanpetals results in the utilisation of noxious municipal and industrial waste, and in the restoration of plants on the lands devoid of biological life.

wieloletnią (okres użytkowania plantacji do 15-20 lat), która wykazuje relatywnie niskie wymagania środowiskowe i klimatyczne a także dużą tolerancją względem siedliska (Dubas 2003, Jakubiak 2010). Jest to roślina, która jest przydatna w rekultywacji biologicznej na terenach po okresie składowania odpadów czy hałdach odpadów przemysłowych. Na silnie toksycznych składowiskach śmieci komunalnych sprawdza się uprawa nie tylko *Salix viminalis* (Zarębski 2014) ale również *S. purpurea* oraz *S. eleagnos* (Dubas 2003). Na obszarach zdegradowanych rolniczo można uprawiać takie gatunki wierzby jak: *S. americana*, *S. amygdalina*, *S. alba*, *S. fragalis*. Odmiany te wykazują dość dużą tolerancję na zakwaszenie gleb, w związku z czym mogą być z powodzeniem używane do rekultywacji składowisk hałd pogórnicych (Dubas 2003). Krzewiaste odmiany wierzby stosowane są również w rekultywacji terenów przemysłowych i mogą służyć do zagospodarowania stref ochronnych wokół fabryk. Wierzba jest także cenioną rośliną stosowaną w rekultywacji, ze względu na zdolność akumulacji metali ciężkich: głównie kadmu i cynku, ale także: miedzi, ołowiu, rtęci, niklu i cezu. Niektóre odmiany wierzby cechują się wysoką tolerancją na zasolenie gleby (Dubas 2003, Jakubiak 2010, Kabała i in. 2010).

Ślázowiec pensylwański (*S. hermaphrodita* Rusby.) jest gatunkiem, który cieszy się coraz większym zainteresowaniem ze strony agroenergetyki. Przemawiają za tym, między innymi niskie wymagania glebowe i klimatyczne tego gatunku. Roślinę tą można uprawiać na terenach piaszczystych, glebach kwaśnych lub bardzo kwaśnych, zdegradowanych oraz na terenach wyłączonych z użytkowania rolniczego (Borkowska i in. 2001, Borkowska, Styk 2006, Klimont, Bulińska-Radomska 2013, Moździerz, Krzywy 2013). Ślázowiec pensylwański to roślina wieloletnia, (w uprawie może być użytkowana przez 20 lat), która ze względu na bardzo silny system korzeniowy, jest niezwykle trwała, dzięki czemu polecana jest jako gatunek do rekultywacji terenów zdegradowanych chemicznie (Borkowska, Styk 2006). Gatunek ten cechuje się także dużą zdolnością pobierania z podłoża metali ciężkich, które zatrzymywane są w ich biomacie (Jasiewicz, Antonkiewicz 1999). Ślázowiec pensylwański kumuluje znaczne ilości takich metali ciężkich jak: kadm, nikiel, ołów, cynk, miedź i mangan (Jasiewicz, Antonkiewicz 1999, Moździerz, Antonkiewicz i in. 2006, Moździerz, Krzywy 2013). Ponadto, w swoich badaniach, Ignatowicz (2015) wykazała, iż ślázowiec może być wykorzystany do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych pestycydami, a zwłaszcza do przedłużenia żywotności bariery sorpcyjnej wokół mogiłnika. O rekultywacyjnych właściwościach tego gatunku decyduje także działanie glebotwórcze - tworzenie struktury gruzełkowej oraz poprawa właściwości fizykochemicznych gleb (Borkowska, Wardzińska 2003, Wardzińska 2000). Klimont i Bulińska-Radomska (2013), wykazali iż stosowanie ślázowca pensylwańskiego w rekultywacji terenów zdewastowanych otworową eksploatacją siarki, pokrytych wapnem poflotacyjnym i nawiezionych osadem ściekowym, pozwala na utylizację uciążliwych odpadów bytowych i przemysłowych, jak również przywrócenie roślinności na terenach pozbawionych życia biologicznego.

Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), also called topinambour, is a species classified as plants of high production potential and versatile use. One of the usage methods of this plant is the *reclamation* of lands devastated by the municipal economy and industry (Kowalczyk-Juśko 2003, Sawicka et al. 2012). Topinambour, together with tall fescue, is a species that is best suited for the *reclamation of the soil-less* formation of post-*flotation* lime that are enriched with municipal waste (Borkowska et al. 2001, Klimont 2007, Klimont, Bulińska-Radomska 2008, 2009, 2011, Klimont 2012). In the studies conducted by Klimont and Bulińska-Radomska (2011) it is proved that the organic mass of Jerusalem artichoke combined with sewage sludge has a profound influence on the soil forming process, initiating the formation of topsoil, as well as the increased amount of total organic carbon and assimilable forms of phosphorus, potassium, and magnesium. *H. Tuberosus* is beneficial in *phytoreclamation* and shows a high tolerance to the presence of heavy metals in soil and can be successfully used in the *reclamation of pesticide-contaminated soils* (Sawicka et al. 2012).

The perennial grasses used as energy crops include: giant miscanthus, amur silver-grass, and prairie cordgrass. They are characterised by comparatively well-developed root system, which may prove that these plants can be used in the *reclamation of degraded lands*. They can, to a varying degree (depending on the clone of plant and the year of cultivation), accumulate heavy metals in the tissue (copper, zinc, lead, nickel, and cadmium) (Kabała et al. 2010). It was also demonstrated that these plants are useful in the *reclamation of sulphur* post-mining lands that are covered with post-*flotation* lime enriched with sewage sludge (Klimont, Bulińska-Radomska 2011). Additionally, amur silver-grass can be cultivated in highly acidic and acidic soils, and in *chemically degraded soils* (Możdżer, Krzywy 2013).

Multiflora rose (*Rosa multiflora* Thumb.) due to many reasons is an increasingly popular plant grown for energy purposes. The biomass net calorific value of this plant approximates the net calorific value of a lower quality bituminous coal (Kieć et al. 2011). This plant is not demanding in terms of growing conditions: it has low soil requirements (because of soil richness and pH), climatic requirements (can withstand drought and lower temperatures very well), and it has a high tolerance to plant pests. It is also characterised by exceptionally deep root structure, thus it can be cultivated in dry soils as well as in less fertile soils (Kościk 2003). Multiflora rose is used in the *reclamation of spoil tips* and in the prevention of scarp retreat. It has also been proven that this species has an ability to accumulate cadmium in the tissue (Kabała et al. 2010).

Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) is a species used for energy purposes because of high fertility of plantation (substantial amount of suckers growing from the trunk and roots). This plant is resistant to ground frost, drought, and soil *salinity, as well as to air pollution* (Kabała et al. 2010); it also grows well in alkali soils (Pacewicz et al. 2006). Robinia, as

Słonecznik bulwiasty (*H. tuberosus* L.) nazywany również topinamburem, to gatunek zaliczany do roślin o dużym potencjale produkcyjnym i wszechstronnym użytkowaniu. Jednym z kierunków wykorzystania tej rośliny jest rekultywacja gruntów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną (Kowalczyk-Juśko 2003, Sawicka i in. 2012). Topinambur, obok kostrzewy trzcinowej, jest gatunkiem, który najlepiej sprawdza się w rekultywacji bezglebowego podłoża wapna poflotacyjnego, które wzbogaca się ściekami komunalnymi (Borkowska i in. 2001, Klimont 2007, Klimont, Bulińska-Radomska 2008, 2009, 2011, Klimont 2012). W przeprowadzonych przez Klimonta i Bulińską-Radomską badaniach (2011), wykazano także, że masa organiczna słonecznika bulwiastego w połączeniu z osadem ściekowym istotnie wpływa na procesy glebotwórcze, inicjując wytworzenie się poziomu próchnicznego, a także przyrost zawartości węgla organicznego i przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. *H. tuberosus* jest przydatny w fitoremediacji oraz wykazuje wysoką tolerancję na występowanie metali ciężkich w glebie może być wykorzystywany z powodzeniem w rekultywacji gleb zanieczyszczonych pestycydami (Sawicka i in. 2012).

Trawy wieloletnie stosowane w uprawach energetycznych: miskant olbrzymi, miskant cukrowy oraz spartina preriowa, charakteryzują się relatywnie dobrze wykształconym systemem korzeniowym, co świadczyć może o możliwości zastosowania tych roślin w rekultywacji terenów zdegradowanych. W różnym stopniu (w zależności od klonu rośliny oraz od roku jej uprawy) akumulują one w swoich tkankach metale ciężkie (miedź, cynk, ołów, nikiel i kadm) (Kabała i in. 2010). Wykazano także użyteczność tych roślin w rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni siarki pokrytych wapnem poflotacyjnym wzbogaconym osadem ściekowym (Klimont, Bulińska-Radomska 2011), Miskant cukrowy dodatkowo może być uprawiany na glebach bardzo kwaśnych i kwaśnych, oraz chemicznie zdegradowanych (Możdżer, Krzywy 2013).

Róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora* Thumb.) dzięki wielu cechom jest coraz popularniejszą rośliną uprawianą na cele energetyczne. Wartość opałowa biomasy tej rośliny jest zbliżona do wartości opałowej niższej jakości węgla kamiennego (Kieć i in. 2011). Roślina ta pod względem warunków uprawy jest niewymagająca: ma niewielkie wymagania glebowe (ze względu na zasobność i odczyn), klimatyczne (dobrze znosi suszę i niskie temperatury), a także wysoką tolerancję na agrofagi. Charakteryzuje się również wyjątkowo głębokim systemem korzeniowym, dzięki czemu może być uprawiana na podłożach przesycających i mniej żyznych (Kościk 2003). Róża wielokwiatowa znalazła zastosowanie w rekultywacji hałd górniczych oraz do zapobiegania erozji skarp. Wykazano także zdolność tego gatunku do akumulacji w tkankach kadmu (Kabała i in. 2010).

Robinia akacja (*R. pseudoacacia* L.) to gatunek wykorzystywany w celach energetycznych ze względu na wysoką plenność plantacji (duża ilość wydawanych odrośli z pni oraz korzeni). Roślina ta jest niewrażliwa na przymrozki, suszę i zasolenie gleby a także zanieczyszczenia powietrza (Kabała i in. 2010), dobrze roz-

a plant from the bean family, grows in symbiosis with *Rhizobia* from *Rhizobium* genus that can fix nitrogen that allows it to complement deficits of macronutrient in the soil. This process significantly improves the quality of soil, therefore black locust is perceived as a plant of remarkably pioneering character. Black locust is used in afforestation, and biological *reclamation* of spoil tips and sites of mine excavation (Pacewicz et al. 2006).

Ashleaf maple (*Acer negundo* L.) is a species of tree, classified as plants that can be grown for energy purposes. This classification is determined by such features as: very high annual growth, low soil requirements, resistance to diseases and pests, and also high tolerance to drought, freeze, and industrial pollution. The net calorific value and the yield of dry mass of ashleaf maple are comparable to those of basket willow (Pacewicz et al. 2006, Frączek et al. 2009). Owing to these features, ashleaf maple is ideally suited to protective afforestation and afforestation aimed at soil *reclamation* (Pacewicz et al. 2006).

Opportunities for using energy crops in degraded soils of the Lublin Voivodeship

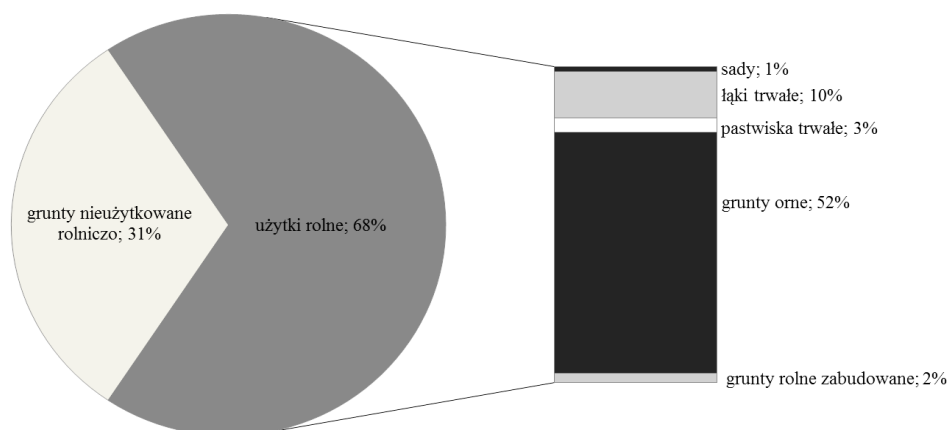
In 2014, the total area of the Lublin Voivodeship was 2512246 ha, that is 8% of the total area of the country. Agricultural lands occupy a significant part of the voivodeship (around 70%). In 2000, soils of high agricultural usability (I-III valuation classes) covered 39,8% of all agricultural lands, while the acreage of soils of the lowest agricultural usability (V-VI valuation classes) amounted to 23% of agricultural lands of the Lublin Voivodeship (Bujanowicz-Haraś 2008).

wija się także na glebach zasadowych (Pacewicz i in. 2006). Robinia, jako gatunek z rodziny bobowatych, żyje w symbiozie z wiążącymi azot cząsteczkowy z powietrza bakteriami brodawkowymi z rodzaju *Rhizobium*, dzięki czemu uzupełnia w ten sposób niedobory tego makroelementu w podłożu. Proces ten znacznie poprawia jakość gleby, co sprawia, że robinia akacja uznawana jest za roślinę o wybitnie pionierskim charakterze. Robinię akacją wykorzystuje się w zadrzewieniu oraz rekultywacji biologicznej hałd i wyrobisk (Pacewicz i in. 2006).

Klon jesionolistny (*A. negundo* L.) to gatunek drzewa, zaliczany do roślin, które mogą być uprawiane w celach energetycznych. O tej klasyfikacji decydują takie cechy tego gatunku jak: bardzo duży przyrost roczny, niewielkie wymagania glebowe, odporność na choroby i szkodniki, a także wysoka tolerancja na suszę, mrozy i zanieczyszczenia przemysłowe. Wartość opałowa oraz plon suchej masy klonu jesionolistnego, są porównywalne z w stosunku do wierzby wiciowej (Pacewicz i in. 2006, Frączek i in. 2009). Dzięki tym cechom rośliny klonu jesionolistnego bardzo dobrze sprawdzają się w zadrzewieniach rekultywacyjnych i osłonowych (Pacewicz i in. 2006).

Możliwości wykorzystania roślin energetycznych na glebach zdegradowanych w województwie lubelskim

Powierzchnia ogólna województwa lubelskiego w 2014 roku wynosiła 2512246 ha, co stanowiło 8% powierzchni kraju. Znaczną część województwa (około 70%) zajmują użytki rolne (rys. 1). W 2000 roku gleby najlepsze jakościowo (I-III klasa bonitacyjna) zajmowały 39,8% powierzchni użytków rolnych, a gleby najslabsze (V-VI klasa bonitacyjna) stanowiły 23% areału użytków rolnych województwa lubelskiego (Bujanowicz-Haraś 2008).



Grunty nieużytkowe rolniczo - uncultivated lands

Użytki rolne - cultivated lands

Sady, łąki trwałe - orchards, permanent meadows

Pastwiska trwałe - permanent pastures

Grunty orne - arable lands

Grunty rolne zabudowane - utilized agricultural lands

Figure 4. Agricultural area of the Lublin Voivodeship by directions of land use

Rysunek 4. Powierzchnia użytków rolnych województwa lubelskiego według kierunków wykorzystania

Source: own elaboration based on data of the Head Office of Geodesy and Cartography.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii.

In addition to the high net calorific value, the other advantage of plants used as energy crops is their capacity to adapt. Due to this feature, energy crops can be successfully used not only in the contaminated or devastated lands but also in the soils of low valuation classes: IIIa, IIIb, IVa, IVb, V and in all agricultural lands which were excluded from agricultural use because of high contamination (Dubas 2003, Stańczyk, Ludwik 2003). Lands used for agriculture are becoming more and more degraded. The acreage of soils excluded from agricultural use is constantly increasing, year by year. The data presented by the Ministry of Agriculture and Rural Development (tab. 1.) demonstrate that on the total area of the Lublin Voivodeship more than three thousand hectares are lands that require *reclamation*.

Zaletą roślin wykorzystywanych na cele energetyczne, oprócz ich wysokiej wartości opałowej, jest zdolność adaptacyjna. Dzięki niej rośliny energetyczne z powodzeniem mogą być wykorzystane nie tylko na terenach zanieczyszczonych i zdewastowanych przemysłowo ale także na glebach niższych klas bonitacyjnych: IIIa, IIIb, IVa, IVb, V oraz na wszystkich glebach rolniczych, które ze względu na wysokie zanieczyszczenie wyłączone zostały z upraw roślin o charakterze rolniczym (Dubas 2003, Stańczyk, Ludwik 2003). Grunty wykorzystywane do użytkowania rolniczego ulegają coraz większej degradacji. Areał gruntów wyłączanych spod użytkowania rolniczego z roku na rok powiększa się. Z danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (tab. 1.) wynika, iż na terenie województwa lubelskiego ponad 3 tysiące hektarów to grunty wymagające rekultywacji.

Table 1. Devastated and degraded land requiring reclamation as well as reclaimed and managed land in Lublin Voivodeship in 2014 r.
Tabela 1. Grunty zdewastowane i zdegradowane wymagające rekultywacji oraz zreakultuwowane i zagospodarowane w województwie lubelskim w 2014 r.

Voivodeship/ Województwo	Lands requiring reclamation/ Grunty wymagające rekultywacji			Lands (during a year)/ Grunty (w ciągu roku)					
	in total/ ogółem	devastated/ zdewastowane	degraded/ zdegradowane	reclaimed/ zreakultuwowane			domesticated/ zagospodarowane		
				in total/ ogółem	for purposes of/ w tym na cele		in total/ ogółem	for purposes of/ w tym na cele	
					agriculture/ rolnicze	forestry/ leśne		agriculture/ rolnicze	forestry/ leśne
in ha									
Lublin	3140	2934	206	47	33	14	23	18	5

Source: own elaboration based on data of the Ministry of Agriculture and Rural Development.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

The main reasons of the chemical soil degradation in the area of the Lublin Voivodeship are: strong acidification, ionic imbalance, and the contamination of heavy metals. The phenomena of soil salinisation and alkalisation apply to smaller areas. Soil acidification is the most common manifestation of degradation in the area of the Lublin Voivodeship. It is caused mainly by the anthropogenic factors, such as: emissions of chemical pollution (nitrogen compounds, cement dust), and by improper fertilisation or over-fertilisation of agricultural lands. In Lublin Voivodeship almost half of soils (48%) is acidic or very acidic, and 42% of soil demands liming. Soils that are especially exposed to this form of degradation are the rusty soils, podzolic soils, and crypto-podzolic soils that are present in the northern part of Łuków County, the eastern part of Biała Podlaska County and Lubartów County, and also in the western part of Włodawa County and Janów Lubelski County (Plan Zagospodarowania...2015). Acidification of soil in the Lublin Voivodeship is presented in figure 5.

Głównymi przyczynami degradacji chemicznej gleb na obszarze województwa lubelskiego są: silne zakwaszenie, naruszenie równowagi jonowej oraz skażenie metalami ciężkimi. Zjawiska zasolenia oraz alkalizacji gleb dotyczą mniejszych obszarów. Zakwaszenie gleb to najczęściej występujący przejaw degradacji na terenie województwa lubelskiego. Wywołują je głównie czynniki antropogeniczne takie jak: emisja chemicznych zanieczyszczeń (związki azotu, pyły cementowe), a także niewłaściwe i nadmierne nawożenie użytków rolnych. W województwie lubelskim niemal połowa gleb (48%) posiada odczyn bardzo kwaśny i kwaśny, a 42% gleb wymaga wapnowania. Na taką formę degradacji narażone są szczególnie gleby rdzawe, bielcowe oraz bielice, które występują w północnej części powiatu łukowskiego, wschodniej części powiatów bialskiego i lubartowskiego a także zachodniej części powiatów włodawskiego i janowskiego (Plan Zagospodarowania...2015). Zakwaszenie gleb w województwie lubelskim przedstawiono na rysunku 5.

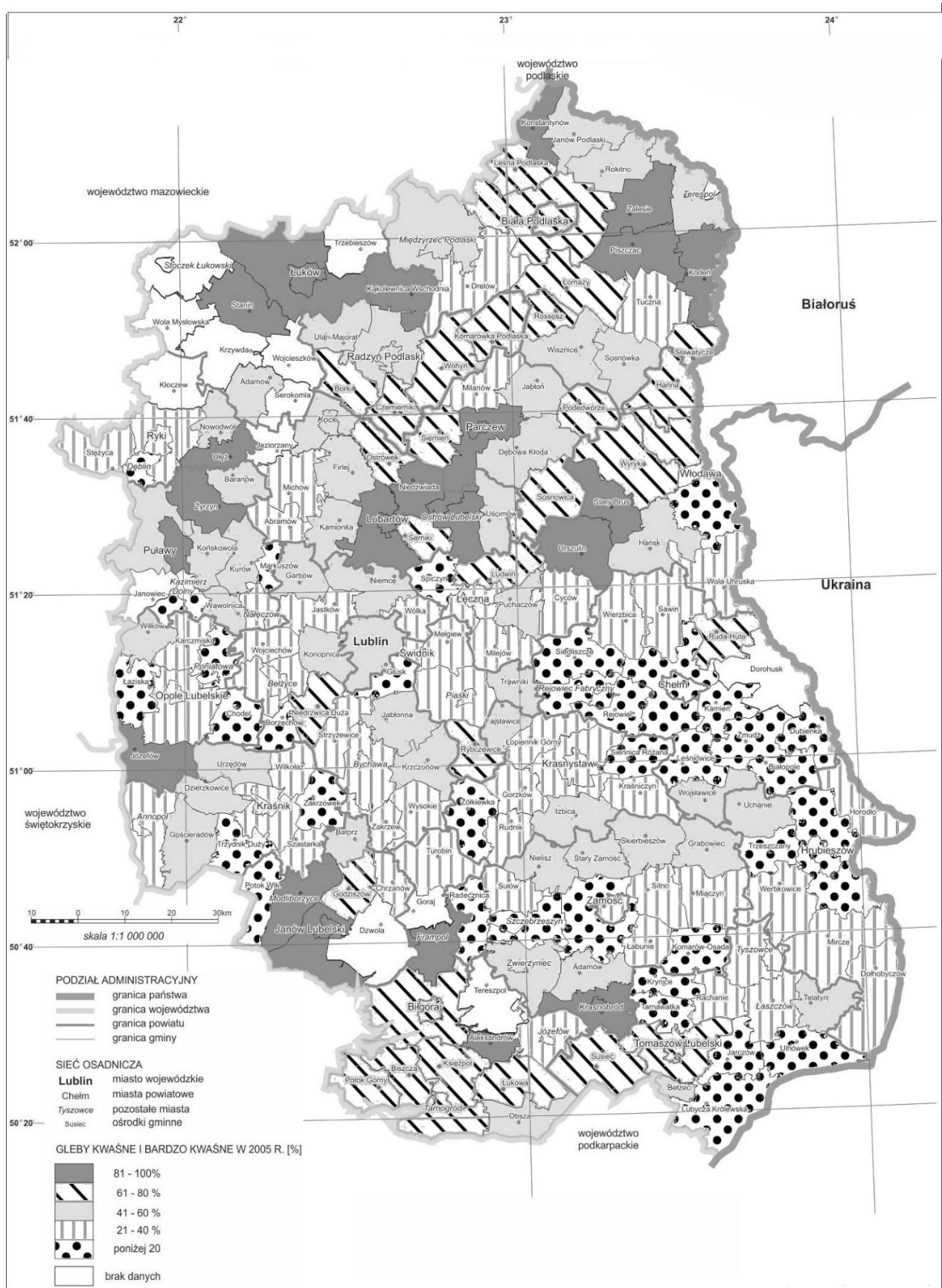


Figure 5. Acidification of soils of the Lublin Voivodeship

Rysunek 5. Zakwaszenie gleb w województwie lubelskim

Source: own elaboration based on CSO data (www.stat.gov.pl).

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (www.stat.gov.pl).

These lands can be used for the cultivation of perennial plants intended for energy purposes, especially those that are not sensitive to strong acidification of soil. They include: willow (species: *S. americana*, *S. amygdalina*, *S. alba*, *S. fragalis*), Virginia fanpetals, and amur silver-grass (Borkowska et al. 2001, Dubas 2003, Borkowska, Styk 2006, Klimont, Bulińska-Radomska 2013, Moździerz, Krzywy 2013).

Estimated costs of establishing selected energy crops plantations

Many authors report that *under the climatic conditions* of Poland the plants of the highest energy efficiency are: basket willow, Virginia fanpetals, and amur silver-grass (Borkowska 2006, Stolarski 2006), i.e. plants which are also well suited to the reclamation of alkaline soils of the Lublin Voivodeship.

The factors important in the process of selecting plant species cultivated for energy purposes are the costs of establishing and maintaining plantations, and the profitability of plantations. The costs of establishing energy crops plantations vary even within a single species and depend on such factors as: prices of cuttings/seeds in a given year, prices of agricultural *machinery*, *prices of seed material*, and others. Cuttings are the most expensive purchase, as in line with Matyka (2008), buying cuttings of amur silver-grass costs 15 600 PLN/ha⁻¹. Cuttings of Virginia fanpetals (4000 PLN/ha⁻¹) and willow (2400 PLN/ha⁻¹) are relatively cheaper. After taking into account the costs of establishing plantations (costs of field preparation, cuttings and planting, and treatment during the first year), amur silver-grass is the most expensive plant in cultivation among all of the species of energy crops studied. Other authors (Kuś and Matyka 2009) confirmed the high costs of establishing amur silver-grass plantations (23075 PLN/ha⁻¹) in comparison with Virginia fanpetals (11127 PLN/ha⁻¹) and basket willow (9060 PLN/ha⁻¹). The comparison of the costs of establishing plantations of selected energy crops is illustrated in table 2.

Conclusion

Due to the depletion of fossil fuels and growing environmental awareness, sources of renewable energy, including biomass obtained from energy crops, are gaining popularity. At the same time, the number of lands degraded, not only as a result of human activity, is growing. Those lands should be appropriately managed. Biological reclamation is one of the methods to restore their efficiency. The perennial plants used for energy purposes, which are often of a pioneering character and in addition have a *high ability to absorb* heavy metals, can be used for such purpose. Plantations of this type of plants can provide biomass-derived renewable energy and restore the value of lands in which they grow. Because of high acidification of soils in the Lublin Voivodeship, the perennial plants for energy purposes that are

Tereny te można wykorzystać do uprawy gatunków roślin wieloletnich, przeznaczonych na cele energetyczne, a szczególnie tych, które nie są wrażliwe na silne zakwaszenie podłoża. Należą do nich: wierzba (gatunki: *S. americana*, *S. amygdalina*, *S. alba*, *S. fragalis*), ślazier pensylwański i miskant cukrowy (Borkowska i in. 2001, Dubas 2003, Borkowska, Styk 2006, Klimont, Bulińska-Radomska 2013, Moździerz, Krzywy 2013).

Szacunkowe koszty założenia plantacji wybranych roślin energetycznych

Wielu autorów donosi, że w warunkach Polski największą wydajność energetyczną posiadają: wierzba krzewiasta, ślazier pensylwański i miskant cukrowy (Borkowska 2006, Stolarski 2006), czyli te rośliny, które również bardzo dobrze sprawdzą się w rekultywacji gleb zakwaszonych województwa lubelskiego.

Czynnikami, które mają istotne znaczenie w wyborze gatunku rośliny uprawianej na cele energetyczne są koszty założenia i prowadzenia plantacji oraz jej opłacalność. Koszty założenia plantacji roślin energetycznych są zróżnicowane nawet w obrębie jednego gatunku i zależą od takich elementów jak: ceny sadzonek/nasion w danym roku, ceny maszyn wykorzystanych do zabiegów agrotechnicznych, cen materiału siewnego i innych. Najwyższy koszt dotyczy zakupu sadzonek, który w przypadku miskanta zgodnie z wynikami badań Matyki (2008) wyniósł 15 600 zł·ha⁻¹. Relatywnie tańsze są sadzonki ślazierca pensylwańskiego (4000 zł·ha⁻¹) oraz wierzby (2400 zł·ha⁻¹). Po uwzględnieniu wszystkich kosztów założenia plantacji (koszt przygotowania pola, zakupu sadzonek i sadzenia, pielęgnacji przez pierwszy rok) to właśnie miskant jest rośliną najdroższą w uprawie wśród badanych gatunków roślin energetycznych. Inni autorzy (Kuś i Matyka 2009) potwierdzili wysokie koszty założenia plantacji miskanta (23075 zł·ha⁻¹) w porównaniu ze ślaziercem (11127 zł·ha⁻¹) i wierzbą krzewiastą (9060 zł·ha⁻¹). Zestawienie kosztów założenia plantacji wybranych roślin energetycznych ilustruje tabela 2.

Podsumowanie

Wyczerpujące się złoża paliw kopalnianych oraz wzrost świadomości ekologicznej sprawiają, iż coraz większym zainteresowaniem cieszą się odnawialne źródła energii, w tym biomasa uzyskiwana z roślin energetycznych. Jednocześnie wzrasta liczba terenów zdegradowanych nie tylko w wyniku działalności człowieka. Tereny powinny być odpowiednio zagospodarowane. Jednym ze sposobów przywrócenia ich sprawności jest rekultywacja biologiczna. Do tego celu można wykorzystać wieloletnie rośliny energetyczne, które bardzo często mają charakter pionierski, a ponadto posiadają wysoką zdolność akumulacji metali ciężkich w tkankach. Plantacje takich roślin pozwalają uzyskać energię odnawialną z biomasy oraz przywracają wartość użytkową terenów, na których rosną. Ze względu na wysokie zakwaszenie gleb

Table 2. Multivariate calculation of the costs of establishing plantations of different species of plants for energy purposes (zł·ha⁻¹)**Tabela 2.** Wielowariantowa kalkulacja kosztów założenia plantacji z różnych gatunków roślin na cele energetyczne (zł·ha⁻¹)

Specification/ Wyszczególnienie		Basket willow/ Wierzba krzewiasta		Amur silver-grass/ Miskant		Virginia fanpetals/ Ślázowiec pensylwański		
Type of plant material/ Rodzaj materiału roślinnego		stem cuttings/ zrzezy		rooted cuttings/ sadzunki ukorzenione		seeds/ nasiona	rooted cuttings/ sadzenie	
Method of plantation establish- ment/ Sposób zakładania plantacji		manual planting/ sadzenie ręczne	automated planting/ sadzenie sadzarką	manual planting/ sadzenie ręczne	automated planting/ sadzenie sadzarką	sowing/ siew	manual planting/ sadzenie ręczne	automated planting/ sadzenie sadzarką
costs of field preparation/ koszty przygotowania pola	soil analysis/ analiza gleby	20						
	costs of machinery and tools/ koszty użycia ma- szyn i narzędzi	941				871	941	
	costs of materials/ koszty materiałowe (nawozy, pestycydy, inne)	650				580	650	
	compensation for labour/ wynagrodzenie za pracę	88				49	88	
Costs of purchase (production of cuttings) and transportation/ Koszt zakupu (produkcji sadzo- nek) wraz z transportem		2400		15600		4000		
costs of planting/ koszty sadzenia	costs of machinery and tools/ koszty użycia ma- szyn i narzędzi	60	420	60	420	120	60	420
	compensation for labour/ wynagrodzenie za pracę	1045	186	1016	186	54	1563	186
costs of treatment - until the end of the growing season/ koszty pielęgnacyjne - do końca sezonu wegetacyjnego	costs of machinery and tools/	340		200		340		
	costs of materials (fertilisers, pesti- cides, and others)/ koszty materiałowe (nawozy, pestycydy, inne)	463		307		463		
	compensation for labour/ wynagrodzenie za pracę	3224						
Total financial costs of esta- blishing a plantation (zł·ha ⁻¹)/ Razem koszty założenia plantacji (zł·ha ⁻¹)		9231	8732	22106	21636	9721	11349	10332
Average financial costs of estab- lishing a plantation (zł·ha ⁻¹)/ Średnio koszty założenia plantacji (zł·ha ⁻¹)		8982		21871		10467		

Source: Matyka 2008.

Źródło: Matyka 2008.

especially recommended to be planted in *chemically degraded lands include*: willow, amur silver-grass, and Virginia fanpetals.

w województwie lubelskim do nasadzeń na terenach zdegradowanych chemicznie z wieloletnich roślin energetycznych polecane są szczególnie: wierzba, miskant cukrowy i ślazier pensylwański.

References/Literatura:

1. Antonkiewicz J., Jasiewicz C., Losak T. (2006), *Wykorzystanie ślazier pensylwańskiego do ekstrakcji metali ciężkich z gleby*. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumietus, 1(05), s. 63-73.
2. Baran S. (2000), *Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb*. Wydaw. AR, Lublin.
3. Borkowska H. (2006), *Paliwa i energia XXI wieku szansą rozwoju wsi i miast*. Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa.
4. Borkowska H., Jachowska I., Piotrowski J., Styk B. (2001), *Suitability of cultivation of some perennial plant species on sewage sludge*. Polish Journal of Environmental Studies, t. 10, nr 5, s. 379-381.
5. Borkowska H., Styk B. (2006), *Ślazier pensylwański (Sida hermaphrodita Rusby). Uprawa i wykorzystanie*. Wydaw. AR, Lublin.
6. Borkowska H., Wardzińska K. (2003), *Some effects of Sida hermaphrodita R. cultivation on sewage sludge*. Polish Journal of Environmental Studies, t. 12, nr 1, s. 119-122.
7. Bujanowicz-Haraś B. (2008), *Środowiskowe uwarunkowania konkurencyjności rolnictwa Lubelszczyzny*. Rocz. Nauk. SE-RiA, t. X, z. 1, 39-43.
8. Dubas J. (2003), *Wierzba*, W: B. Kościk (red.), *Rośliny energetyczne*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin, s. 56-78.
9. Dudkiewicz M., Bolibok L. (2011), *Wybrane rośliny energetyczne jako element kształtowania krajobrazu*. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumietus, 3(10), s. 13-20.
10. Ferber U., Nathanail P., Jackson J., Gorski M., Krzywon R., Drobiec L., Finka M. (2006), *Tereny zdegradowane*. Podręcznik. Lepob.
11. Frankowski Z., Godlewski T., Irmiński W., Łukasik S., Majer E., Nałęcz T., Sokołowska M., Wołkowicz W., Chada K., Choromański D., Gałkowski P., Jaśkiewicz K., Jurys L., Kaczyński Ł., Madej M., Majer K., Pietrzykowski P., Samel I., Wszędyrówny-Nast M. (2012), *Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych*. Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.
12. Frączek, J., Mudryk, K., Wróbel, M. (2009), *Klon jesionolistny Acer negundo L. – nowy potencjalny gatunek energetyczny*. Acta Agrophysica, 14(171), s. 313-322.
13. Gasidło K. (1998), *Problemy przekształceń terenów przemysłowych*. Zeszyty Naukowe. Architektura/Politechnika Śląska, nr 37, s. 1-199.
14. Glapa W. (2004), *O potrzebie aktualizacji przepisów dotyczących rekultywacji gruntów i terenów*. Górnictwo Odkrywkowe, 46 (5/6), s. 55-61.
15. Gostomczyk W. (2008), *Ekonomiczne i prawne problemy tworzenia rynku odnawialnych źródeł energii*. Zeszyty Naukowe Instytutu Ekonomii i Zarządzania, Politechnika Koszalińska, nr 2, s. 39-49.
16. Ignatowicz, K. (2015), *Wykorzystanie ślazier pensylwańskiego Sida Hermaphrodita do fitoremediacji gleby zanieczyszczonej pestycydami*. Ecological Engineering, nr 45, s. 89-92.
17. Jakubiak M. (2010), *Zastosowanie stymulacji laserowej wybranych gatunków roślin w celu zwiększenia ich przydatności dla rekultywacji terenów zasolonych*. Praca doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica (Kraków), <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/10242/full10242.pdf> (data dostępu: 18.10.2015r.).
18. Jasiewicz C., Antonkiewicz J. (1999), *Badania nad możliwością wykorzystania ślazier pensylwańskiego (Sida hermaphrodita Rusby) do rekultywacji terenów zdegradowanych chemicznie*. Zeszyty Naukowe AR Kraków, nr 349 s. 157-163.
19. Kabała C., Karczewska A., Kozak M. (2010), *Przydatność roślin energetycznych do rekultywacji i zagospodarowania gleb zdegradowanych*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Rolnictwo, t. 96, s. 97-117.
20. Karczewska A. (2008), *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*. Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław.
21. Kieć J., Łabza T., Wieczorek D. (2011), *Róża wielokwiatowa (Rosa multiflora) odmiany Jatar na cele energetyczne*. Fragmenta Agronomica, 28(3), s. 35-41.
22. Klimont K., Bulińska-Radomska, Z. (2011), *Wpływ wybranych gatunków roślin na procesy glebotwórcze i ich przydatność do rekultywacji bezglebowych utworów wapna poflotacyjnego na powierzchni po otworowej eksploatacji siarki*. Roczniki Gleboznawcze, 2(62), s. 204-211.
23. Klimont K., Bulińska-Radomska Z. (2008), *Przydatność wybranych gatunków roślin do rekultywacji podłoża wapna poflotacyjnego w różnych warunkach agrotechnicznych*. Problemy Inżynierii Rolniczej, nr 1, s. 99-108.
24. Klimont K., Bulińska-Radomska Z. (2009), *Przydatność wybranych gatunków roślin do rekultywacji glebotwórczego gruntu z wapna poflotacyjnego*. Biul. IHAR, nr 252, s. 293-300.
25. Klimont K., Bulińska-Radomska Z. (2013), *Możliwość wykorzystania ślazier pensylwańskiego (Sida hermaphrodita Rusby) do rekultywacji terenów po otworowej eksploatacji siarki*. Problemy Inżynierii Rolniczej, r. 21, nr 1, 125-132.
26. Klimont K. (2007), *Ocena przydatności wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną*. Problemy Inżynierii Rolniczej, nr 15, s. 27-36.
27. Klimont K. (2012), *Ocena przydatności topinamburu (Helianthus tuberosus L.) i kostrzewy trzcinowej (Festuca arundinacea Schreb.) do rekultywacji bezglebowego podłoża wapna poflotacyjnego użyźnionego osadem ścieków komunalnych*. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, nr 265, s. 89-97.
28. Kościk B. (red.) (2003). *Rośliny energetyczne*. Wyd. AR, Lublin.
29. Kowalczyk-Juśko A. (2003). *Topinambur*. W: B. Kościk (red.), *Rośliny energetyczne*. Wydawnictwo AR w Lublinie, s. 96-106.
30. Kuś J., Matyka M. (2009), *Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych warunkach siedliskowych*, W: A. Skrobacki (red.), *Produkcja biomasy – Wybrane problemy*. Wyd. SGGW, Warszawa, s. 9-14.

31. Łaska G., Nazaruk B. (2015), *Zastosowanie roślin energetycznych w gospodarce ściekowej i osadowej*. *Ekonomia i Środowisko*, 2(53), s. 145-153.
32. Majtkowski W., Podyma W., Góral S. (1996), *Gatunki roślin do rekultywacji terenów zdegradowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii*. Wydaw. SGGW, Warszawa.
33. Matyka M. (2008), *Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych*. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, nr 11, s. 113-123.
34. Możdżer E., Krzywy E. (2013), *Evaluation of the effect of combustion wastes on microelements contents in soil after Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) cultivation*. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica*, 26, s. 75-85.
35. Ociepa A., Lach J., Gałczyński Ł. (2008), *Korzyści i ograniczenia wynikające z zagospodarowania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi pod uprawy roślin przemysłowo-energetycznych*. *Proc. of EC Opolo*, 2, 1, s. 231-235.
36. Ostrega A., Uberman R. (2010), *Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposób wyboru, klasyfikacja i przykłady*. *Górnictwo i Geoinżynieria*, nr 34, s. 445-461.
37. Pacewicz K., Wróbel M., Wieczorek T., Gilewska M., Otremba K. (2006), *Charakterystyka wzrostu drzew klonu jesionolistnego, oliwnika wąskolistnego i robinii akacjowej na składowisku popiołów elektrowniowych*. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 1(05), 87-98.
38. *Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Lubelskiego 2015 r.*, <http://bpp.lublin.pl/pzpw/2015/ekofizjografia.html> (data dostępu: 20.04.2016 r.).
39. Radziejewicz J. (2009). *Rośliny energetyczne*. Nr 31 CBR.
40. Sawicka B., Skiba D., Kotiuk E. (2012), *Wielokierunkowe wykorzystanie surowców ze słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.)*. W: K. Zarzecka, S. Kondracki, J. Skrzyczyńska (red.), *Współczesne dylematy polskiego rolnictwa. Cz. 2 / Państwo-wa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II, Biała Podlaska*, s. 332-343.
41. Siuta J. (2009), *Degradacja i rekultywacja powierzchni ziem w Polsce*. *Zesz. Nauk Pol.-Wsch. PTIE O/Rzeszów, PTG O/Rzeszów*, nr 11, s. 235-241.
42. Stańczyk K., Gogola K., Bajerski A. (2005), *Analiza możliwości upraw roślin energetycznych na terenach zdegradowanych na przykładzie wierzby wiciowej*. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko/Główny Instytut Górnictwa*, s. 103-110.
43. Stańczyk K., Ludwik M. (2003), *Uprawy roślin energetycznych - możliwości zagospodarowania nieużytków i użytków rolnych, na których produkcja rolnicza jest nieopłacalna*. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko/Główny Instytut Górnictwa*, s. 71-81.
44. Stolarski M. (2006), *Opłacalność uprawy wierzby na cele energetyczne*. 2 Regionalne Forum Energetyki Odnawialnej, Przysiek.
45. Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z dnia 3 lutego 1995 (tekst jednolity – Dz.U. z 2015 poz. 909), <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU19950160078> (data dostępu: 23.10. 2015r.).
46. Wardzińska K. (2000), *Plonowanie i pobieranie metali ciężkich przez ślazowiec pensylwański w warunkach uprawy na glebie mineralnej i osadzie pościekowym*. *Annales UMCS. Seria E*, nr 55, s. 75-87.
47. Zarębski P. (2014), *Znaczenie wierzby energetycznej w rekultywacji wysypisk śmieci oraz hałd i wyrobisk pogórnich*. *Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk Ekonomicznych Politechniki Koszalińskiej*, 18, s. 67-76.