

ZAGŁĘBIENIA BEZODPŁYWOWE OBSZARÓW LESSOWYCH POLSKI STAN I PERSPEKTYWY BADAŃ

Closed depressions in the loess areas of Poland Current state of research and prospects for further research

RENATA KOŁODYŃSKA-GAWRYSIAK*

Zarys treści. Zagłębienia bezodpływowe stanowią typowe formy rzeźby obszarów lessowych Europy, a ich geneza jest szeroko dyskutowana w literaturze. Artykuł prezentuje stan dotychczasowych badań, dotyczących zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych Polski, istniejące hipotezy genetyczne oraz kierunki przyszłych badań. Dotychczas w literaturze opisane zostały cechy morfometryczne, rozmieszczenie i warunki geologiczne występowania tych form. W wybranych zagłębieniach zbadano gleby kopalne i osady koluwalne wypełniające formy. Zróżnicowane procesy (pierwotne i wtórne): deflacja, nierównomierna akumulacja lessu, sufozja, wyciskanie poziomów kurzawkowych, termokras były opisywane jako możliwe procesy morfogenetyczne. Zagłębienia bezodpływowe pełnią funkcję sedymentologicznych archiwów, umożliwiających rekonstrukcję naturalnych i antropogenicznych procesów zachodzących w przeszłości. Niezbędne są dalsze badania genezy i ewolucji zagłębień bezodpływowych. Pozwoli to na lepsze zrozumienie znaczenia okresu późnego glacjału i holocenu dla morfogenezy obszarów lessowych Europy.

Słowa kluczowe: zagłębienia bezodpływowe, lessy, termokras, sufozja, erozja gleb, koluwia, gleby kopalne

Abstract. Closed depressions (CDs) are typical geomorphological features of the loess belts in Europe and their origin is highly debated in literature. This paper presents the current state of research on CDs in the loess belts in Poland. A review was conducted of several studies describing CDs. The existing genetic hypothesis and the scope of future research are described. Morphometric features of CDs, distribution and geological conditions were described in several publications so far. In the selected CDs, colluvial sediments and fossil soils were studied. Various processes (primary and secondary): deflation, uneven loess deposition, suffosion, extrusion of strongly saturated layers, thermokarst were reported as probable genetic processes. CDs act as important archives allowing a reconstruction of natural and anthropogenic processes operating in the past. More research is needed for a better understanding of the origin and evolution of CDs. This will help better understand the importance of the Late Glacial and Holocene stages for the morphogenesis of the loess belts in Europe.

Key words: closed depressions, loess, thermokarst, suffosion, soil erosion, colluvial sediments, fossil soils

Wprowadzenie

Zagłębienia bezodpływowe to formy rzeźby, w których dno otoczone jest zboczami, tworząc zamknięty system. Materiał pochodzący ze zboczy podlegających erozji wodnej i uprawowej akumulowany i zatrzymywany jest w obrębie systemu (Norton 1986). Zagłębienia bezodpływowe stanowią typowe formy rzeźby obszarów lessowych Europy. Pierwsze wzmianki o zagłębieniach bezodpływowych obszarów lessowych

pochodzą z okolic Lublina (Криштафович 1896, 1902) oraz z Nowej Zelandii (Hardcastle 1908). Dotychczasowa dyskusja dotycząca genezy i ewolucji form występujących na obszarze europejskich pokryw lessowych sugeruje ich antropogeniczne i/lub naturalne pochodzenie (Gillijns i in. 2005; Vanvallegheem i in. 2007; Kołodyńska-Gawrysiak, Poesen 2017).

Celem pracy jest prezentacja stanu badań zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych Polski, przegląd dotychczasowej wiedzy o genezie

* Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Geologii i Ochrony Litosfery, Al. Kraśnicka 2CD, 20-718 Lublin; e-mail: renata.kolodynska-gawrysiak@poczta.umcs.lublin.pl

i rozwoju tych form oraz określenie kierunków dalszych prac badawczych.

Stan badań zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych w Polsce

Pierwsze obszerne studium poświęcone wertebom obszarów lessowych Wyżyny Lubelskiej przedstawił Maruszczak (1954). Pojęciem werteb, zapożyczonym z terminologii krasowej przez Malickiego (1946), określa Maruszczak (1954) dwie grupy zagłębień: zapadliskowe formy kotłów i studzien lessowych (z odpływem podziemnym) oraz zagłębia bezodpływowe określane ludową nazwą wymoki. Te dwa rodzaje form, jak podkreśla wspomniany autor, różnią się zasadniczo pod względem morfologicznym i morfometrycznym, a także funkcją jaką pełnią w krajobrazie obszarów lessowych. Formy pierwszego typu występują głównie w rejonie wąwozów, mają bardzo wyraźnie zarysowane kształty i nawet kilkumetrową głębokość. Odgrywają jednak niewielką rolę w krajobrazie. Zagłębia bezodpływowe (wymoki) to formy stosunkowo płytkie o łagodnych kształtach (fot. 1). W niektórych częściach pokryw lessowych Wyżyny Lubelskiej są bardzo pospolite i pełnią znaczącą funkcję w krajobrazie (Maruszczak 1954).

Pierwsze wzmianki o zagłębieniach bezodpływowych jako formach rzeźby lessowej można znaleźć w pracach Криштафовича (1896, 1902), jednak szczegółowe badania zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych rozpoczęto dopiero

ponad pół wieku później. Początkowo prowadzono je na Wyżynie Lubelskiej, a następnie także na Wyżynie Sandomierskiej. W obydwu regionach zagłębienia bezodpływowe określane są mianem wymoków. Ta ludowa nazwa nawiązuje do osobliwości hydrograficznej form, polegającej na okresowym (w czasie wiosennych roztopów) lub epizodycznym (w czasie intensywnych opadów deszczu) gromadzeniu wód powierzchniowych, powodujących wymakanie upraw (fot. 2).

W rejonie Grodziska na Płaskowyżu Kolbuszowskim w południowej Polsce badano także zagłębienia bezodpływowe zwane „jeziorkami grodziskimi” (Wojtanowicz 1997), które powstały na zróżnicowanych genetycznie lessopodobnych osadach pylastych i pylasto-piaszczystych kilkumetrowej miąższości.

Cechy morfologiczne i rozmiary zagłębień bezodpływowych

Na podstawie licznych obserwacji terenowych Maruszczak (1954) zaproponował podział zagłębień bezodpływowych na dwa typy morfologiczne: miseczkowate i talerzykowate. Podział ten został utrwalony w literaturze i był stosowany także przez późniejszych badaczy. Kształt zagłębień bezodpływowych zarówno na Wyżynie Lubelskiej, jak i Sandomierskiej jest określany jako owalny, rzadziej nieregularny. Rozmiary zagłębień bezodpływowych Maruszczak (1954) określa ogólnie: średnica od kilku do kilkudziesięciu metrów a głębokość od kilku decymetrów do 2–3 m (tab. 1).



fot. R. Kołodyńska-Gawrysiak, 2016

Fot. 1. Zagłębienie bezodpływowe użytkowane rolniczo, Kopanina w okolicach Lublina

Closed depression under cropland, Kopanina near Lublin



fol. R. Kołodyńska-Gawrysiak, 2014

Fot. 2. Zagłębienia bezodpływowe okresowo wypełniające się wodą stanowią unikalną cechę krajobrazu wierzchowin lessowych, Jastków, Płaskowyż Nałęczowski

Closed depressions periodically filled with water are a unique landscape feature of loess plateau tops, Jastków, Nałęczów Plateau

Na Płaskowyżu Nałęczowskim zinventaryzowano 1761 zagłębień bezodpływowych, co umożliwiło szczegółowe określenie ich cech morfometrycznych (Kołodyńska-Gawrysiak, Chabudziński 2012). Mają owalny (82,16%), rzadziej nieregularny (17,7%) kształt. Rozmiary dłuższej osi form wynoszą od 11 do 362 m (tab. 1). Osobliwością zagłębień jest dłuższa oś, która u ponad połowy form (51,39%) mieści się w wąskim zakresie 25–50 m. Na Wyżynie Sandomierskiej dokonano inwentaryzacji 945 zagłębień bezodpływowych. Ich dłuższa oś zawiera się w przedziale od 19 do 100 m, zbocza mają spadek od 1 do 4°, a głębokość form wynosi najczęściej 0,5–2 m, rzadko przekraczając 2 m (tab. 1).

Zagłębienia bezodpływowe w rejonie Grodziska są formami o owalnym kształcie i rozmiarach dłuższej osi w przedziale 10–80 m. Większość form ma głębokość 1–1,9 m, maksymalnie 3,5 m (Wojtanowicz, Józwiakowska 1997) (tab. 1).

Rozmieszczenie zagłębień bezodpływowych

Rejony występowania zagłębień bezodpływowych zostały dobrze rozpoznane na tle elementów rzeźby lessowej. Jako najbardziej typowe obszary występowania zagłębień Maruszczak (1954)

wskazuje powierzchnie wierzchowinowe, a także wąskie garby wododziałowe, niskie wododziały, terasy nadzalewowe oraz górne odcinki dolin denudacyjnych (tab. 1). Szczegółowe dane ilościowe w tym zakresie pokazują, że najczęściej zagłębień koncentruje się na wierzchowinach lessowych. Na Płaskowyżu Nałęczowskim stanowi to 72%, a na Wyżynie Sandomierskiej niecałe 60% (tab. 1). Większość zagłębień w obydwu regionach występuje w dolinkach nieckowatych 16–18%, a w obrębie pozostałych elementów rzeźby ich odsetek wynosi po kilka procent. Gęstość zagłębień bezodpływowych na Płaskowyżu Nałęczowskim sięga 40 form/km², a na Wyżynie Sandomierskiej 17–60 form/km² (Czarnecki, Lewartowska-Urbańska 1987; Kołodyńska-Gawrysiak, Chabudziński 2012) (tab. 1).

Dla zagłębień bezodpływowych Wyżyny Lubelskiej dokonano oceny geologicznych uwarunkowań rozmieszczenia form. Maruszczak (1954) stwierdza, że na wierzchowinach lessowych formy te występują tylko wówczas, gdy lessy mają miąższość przynajmniej 5–6 m, a na terasach nadzalewowych – 1–3 m. Bardziej szczegółowych danych dostarczają badania przeprowadzone na Płaskowyżu Nałęczowskim, z których wynika, że rozmieszczenie zagłębień nie zależy od miąższości pokrywy lessowej, lecz wyraźnie koresponduje z typem osadów podścielających lessy. Najwięcej zagłębień

Główne cechy morfometryczne, rozmieszczenie i geneza zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych Polski

Main morphometric features, distribution and origin of closed depressions in loess areas of Poland

Region <i>Region</i>	Średnica [m] <i>Diameter [m]</i>	Głębokość [m] <i>Depth [m]</i>	Gęstość [na km ²] <i>Density [per km²]</i>	Położenie [% form] <i>Localisation [% of forms]</i>	Proces/czynnik morfogenetyczny <i>Morphogenetic process/factor</i>
Wyżyna Lubelska Maruszczak (1954)	kilka – kilkadziesiąt metrów	max. 3	b.d	wierzchowiny garby wododziałowe niskie wododziały terasy nadzalewowe górne odcinki dolin denudacyjnych	- nierównomierna akumulacja lessów - deflacja - wyciskanie poziomów kurzawkowych - sufozja
Wyżyna Sandomierska Czarnecki, Lewartowska- -Urbańska (1987)	19–100	0,5–2,45	17–60	wierzchowiny 60% doliny nieckowate 18,5%	- ukształtowanie podłoża lessów - sufozja
Płaskowyż Nałęczowski, Wyżyna Lubelska Kołodyńska-Gawrysiak, Chabudziński (2012, 2014) Kołodyńska-Gawrysiak, Poesen (2017)	11–362	max. 3,5	1–40	wierzchowiny 72% doliny nieckowate 16% doliny denudacyjne 5% stoki 7%	formy poligenetyczne: - ukształtowanie podłoża lessów - akumulacja eoliczna - deflacja - termokras - hydrokonsolidacja - sufozja
Płaskowyż Kolbuszowski Wojtanowicz (1997) Wojtanowicz, Józwiakowska (1997)	10–100	max. 3,5	max. 2	wierzchowiny doliny denudacyjne stoki	- termokras

bezodpływowych występuje na obszarach, gdzie pod pokrywą lessową spoczywa mięszczy kompleks osadów glacygenicznych z przewagą glin zwałowych oraz ilaste osady zastoiskowe. W tych rejonach gęstość form osiąga maksymalnie wartości 40 form/km². Najmniej zagłębień bezodpływowych występuje na terenach, gdzie lessy spoczywają bezpośrednio na podłożu skalnym lub cienkiej i nieciągłej pokrywie osadów glacygenicznych z przewagą osadów piaszczysto-żwirowych. Gęstość zagłębień wynosi tu zaledwie kilka form na km² (Kołodyńska-Gawrysiak i in. 2015a).

Zagłębienia badane w rejonie Grodziska występują w obrębie wszystkich elementów rzeźby. Najwięcej form można spotkać na terenie poziomów wierzchwinowych, dolin denudacyjnych i stoków. Maksymalna gęstość zagłębień to 2 formy/km² (Wojtanowicz, Józwiakowska 1997) (tab. 1)

Charakterystyka hydrograficzna, wpływ na użytkowanie terenu oraz geo- i bioróżnorodność

Maruszczak (1954) opierając się na szczegółowych obserwacjach terenowych oraz relacjach mieszkańców badanych terenów z początku XX w. przedstawił szczegółową charakterystykę hydrograficzną wymoków. Niezwykle cenne informacje o charakterze historycznym dotyczą opisywanych przez autora zmian stosunków hydrograficznych postępujących od początku minionego stulecia i prowadzących do wysychania wymoków. „Z relacji mieszkańców wielu okolic można się dowiedzieć, że liczne zagłębienia obecnie zaorane i wypełniane się wodą na krótki okres czasu, jeszcze przed 20–30 laty należały do form z wodą stałą, względnie występującą przez znaczną część roku. W zagłębieniach tych pławiło się i topiło bydło, hodowano ryby i pływano łodziami. Proces wysy-

chania postępował stopniowo i w miarę jak zaorywano obszary znajdujące się uprzednio w użytkowaniu leśnym albo pastwiskowym” (Maruszczak 1954, s. 150). Autor dokonuje także klasyfikacji hydrograficznej form, wyróżniając wymoki z wodą stałą, okresową i chwilową, do której odnoszą się późniejsi badacze.

Obserwacje terenowe prowadzone na Płaskowyżu Nałęczowskim pozwoliły na określenie wpływu zagłębień bezodpływowych na użytkowanie terenu, rodzaj prowadzonych upraw, a także skład gatunkowy lasu (Kołodzyńska-Gawrysiak, Chabudziński 2014) (fot. 3, 4). Czarnecki (1969, 2005) zwraca uwagę, że wymoki Wyżyny Sandomierskiej podnoszą geo- i bioróżnorodność obszarów lessowych i przyczyniają się do wyróżnienia w strukturze krajobrazu podtypu uroczysk wymoków. Szczegółową charakterystykę wpływu zagłębień bezodpływowych na geo- i bioróżnorodność Płaskowyżu Nałęczowskiego przedstawili także Kołodzyńska-Gawrysiak i Chabudziński (2014).

Relacje z osadnictwem pradziejowym

Badania prowadzone na Płaskowyżu Nałęczowskim pozwoliły na analizę funkcji zagłębień bezodpływowych w prehistorycznym krajobrazie obszarów lessowych oraz ich wpływu na lokalizację

osadnictwa (Kołodzyńska-Gawrysiak i in. 2013b). Wyniki badań wskazują, że w następstwie wylesień dokonanych w neolicie przez pierwsze społeczności rolnicze, nastąpiły zmiany stosunków wodnych, które spowodowały, że zagłębienia bezodpływowe, pierwotnie bezwodne, zaczęły funkcjonować w krajobrazie jako okresowe zbiorniki wodne. Począwszy od neolitu, zagłębienia bezodpływowe wykorzystywano jako dodatkowe źródło zaopatrzenia w wodę, a w sąsiedztwie większych zagłębień lokalizowano osady (Kołodzyńska-Gawrysiak, Bienia 2010; Kołodzyńska-Gawrysiak 2015) (fot. 5).

Osady wypełniające zagłębienia bezodpływowe i holocenińska ewolucja form

Badania osadów wypełniających trzy zagłębienia bezodpływowe na Wyżynie Lubelskiej przeprowadził Maruszczak (1954), a na Wyżynie Sandomierskiej kilka form w tym zakresie zbadali Czarnecki i Lewartowska-Urbańska (1987) oraz Czarnecki i Solnceva (1992). Rezultatem badań wspomnianych autorów jest charakterystyka gleb kopalnych oraz cech litologicznych, a także wybranych właściwości fizykochemicznych lessów i osadów wypełniających badane formy. Autorzy



fot. R. Kołodzyńska-Gawrysiak, 2017

Fot. 3. Bogactwo gatunkowe zarośli w dnie zagłębienia bezodpływowego na obszarze leśnym, Okrąglica, Płaskowyż Nałęczowski

Species richness of the undergrowth in the bottom of forested closed depression near Okrąglica, Nałęczów Plateau



fol. R. Kołodyńska-Gawrysiak, 2015

Fot. 4. Drzewa i zarośla w zagłębieniach bezodpływowych stanowią enklawy roślinności leśnej kontrastujące z terenami pól uprawnych i podnoszące ich bioróżnorodność, Moszenki, Płaskowyż Nałęczowski

Forest enclaves formed by trees and shrub vegetation growing in closed depressions contrast with arable fields and increase their biodiversity, Moszenki, Nałęczów Plateau



fol. R. Kołodyńska-Gawrysiak, 2011

Fot. 5. Wykopaliska archeologiczne odsłaniające osadę neolityczną w Pliszczynie przy zagłębieniu bezodpływowym

Archaeological excavation exposed a Neolithic settlement in Pliszczyn at the closed depression

zwracają uwagę, że lessy pod dnami zagłębień są głęboko odwapnione. Na Wyżynie Sandomierskiej wykonano profil do głębokości 11,2 m, a na Wyżynie Lubelskiej do 8 m, które były w całości odwapnione. W następstwie przemywania wraz z głębokością zmieniają się cechy osadów wypełniających i lessów, które charakteryzują się mniejszą przepuszczalnością, dużą zwięzłością i wilgotnością w stosunku do obszarów otaczających (Czarnecki, Lewartowska-Urbańska 1987). Ponadto Maruszczak (1954) stwierdza w lessach pod dnami zagłębień ubytek frakcji koloidalnej. Zdaniem Czarneckiego i Lewartowskiej-Urbańskiej (1987) ewolucja zagłębień bezodpływowych polega głównie na ich wypełnianiu przez osady pochodzące z erozji gleb. Proces ten prowadzi do całkowitego zaniku wielu wymoków i postępuje bardzo dynamicznie. Na niektórych obszarach Wyżyny Sandomierskiej prawie 50% form stanowią wymoki niewidoczne w rzeźbie. Maruszczak (1954) stwierdza, że wypełnianie zagłębień produktami erozji gleb stanowi końcowe stadium rozwoju tych form.

Szczegółowego rozpoznania litostratygraficznego wraz z analizą podstawowych właściwości fizykochemicznych sekwencji osadowo-glebowych wypełniających zagłębienie bezodpływowe w okolicach Lublina dokonali Konecka-Betley i Maruszczak (1993). Umożliwiło to autorom

stwierdzenie poligenezy i późnoglacialno-holoceneskiego wieku gleby kopalnej rozwiniętej na lessach *in situ* w obrębie pierwotnego dna zagłębienia. Odtworzono etapy holoceneskiej ewolucji wspomnianej gleby kopalnej. Udokumentowano także dwa etapy (neolityczny i w okresie historycznym) wypełniania zagłębienia osadami koluwalnymi, wiążąc je z rolniczą działalnością człowieka. Etapy wypełniania zagłębienia, autorzy utożsamiają z holoceneską ewolucją badanej formy. Charakterystykę współczesnych i kopalnych gleb w zagłębieniach bezodpływowych opisali także Maruszczak i Uziak (1978).

Szczegółowe badania sekwencji osadowo-glebowych wypełniających łącznie kilkanaście zagłębień bezodpływowych przeprowadzono na Płaskowyżu Nałęczowskim i Grzędzie Horodelskiej. Wykonanie szczegółowych analiz fizykochemicznych, mikromorfologicznych, geochemicznych oraz datowań bezwzględnych pozwoliło określić chronostratyografię holoceneskich sekwencji osadowo-glebowych wypełniających zagłębienia bezodpływowe. Na podstawie analizy wypełnień udokumentowano, uzależnione od warunków naturalnych oraz działalności człowieka, etapy i uwarunkowania ewolucji badanych form podczas późnego vistulianu i holocenu (Kołodzyńska-Gawrysiak, Bienia 2010; Kołodzyńska-Gawrysiak i in. 2013a, b, 2015b, 2017) (fot. 6).



fot. R. Kołodzyńska-Gawrysiak, 2014

Fot. 6. Sekwencja osadowo-glebowa wypełniająca zagłębienie bezodpływowe w Wojnowie, Grzęda Horodelska
Soil-sediment sequence infilling the closed depression in Wojnowo, Horodło Plateau

Osady wypełniające zagłębienia bezodpływowe Płaskowyżu Nałęczowskiego były także badane w kontekście oceny tempa erozji gleb. Na podstawie objętości osadów koluwalnych wypełniających dwa połączone ze sobą zagłębienia bezodpływowe, Rafalska-Przysucha i Rejman (2015) oszacowali tempo erozji gleb w ciągu ostatnich 185 lat. Szczegółowe rozpoznanie lito-stratygraficzne sekwencji osadowo-glebowych wypełniających cztery wybrane formy umożliwiło ilościowe określenie etapów i tempa erozji gleb w skali całego holocenu, w odniesieniu do innych obszarów lessowych Europy (Kołodyńska-Gawrysiak i in. DOI: 10.1002/esp.4296).

Geneza zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych w Polsce

Szczegółowa analiza koncepcji genetycznych związanych z powstawaniem zagłębień bezodpływowych na obszarach lessowych głównie Europy Wschodniej, na podstawie literatury polskiej i rosyjskiej, zawarta jest w pracy Maruszczaka (1954). Przegląd dotychczasowej wiedzy na temat genezy zagłębień bezodpływowych w obrębie pokryw lessowych Europy wraz z odniesieniami do wybranych obszarów świata przedstawili Kołodyńska-Gawrysiak i Poesen (2017). Badacze zajmujący się problematyką zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych Polski proponują różne hipotezy dotyczące powstania zagłębień bezodpływowych.

Przedstawiona przez Maruszczaka (1954) teoria genezy zagłębień bezodpływowych na obszarach wierzchołków lessowych zakłada, że są to formy naturalne, powstałe w wyniku rozwoju procesów sufozyjnych w obrębie inicjalnych zagłębień w pokrywie lessowej. Inicjalne zagłębienia zostały uformowane w końcowym etapie tworzenia pokryw lessowych wskutek nierównomiernej akumulacji lessu lub deflacji (procesy pierwotne). Procesy sufozji zachodziły w holoenie i miały charakter procesów wtórnych prowadzących do diagenezy i osiadania lessów, a następnie pogłębienia form inicjalnych. Autor sugeruje również możliwość powstawania zagłębień w wyniku obciążenia osadów silnie przesyconych wodą (wyciskanie poziomu kurzawkowego), a wyklucza udział procesów termokrasowych w kształtowaniu tych form. W przypadku zagłębień bezodpływowych występujących w obrębie teras nadzalewowych zakłada dodatkowo udział takich procesów morfogenetycznych jak erozja i akumulacja fluwialna.

Kalniet (1954) sugeruje, że przeważająca liczba zagłębień bezodpływowych położonych w strefie peryglacjalnej ostatniego zlodowacenia jest silnie związana z procesami termokrasowymi, zachodzącymi w warunkach degradacji wieloletniej zmarzliny. Podobne poglądy zaprezentował Wojtanowicz (1997) w odniesieniu do form w rejonie Grodziska. Według tego autora geneza zagłębień bezodpływowych łączy się z procesami termokrasowymi towarzyszącymi degradacji zmarzliny u schyłku plejstocenu. Podkreśla on także rolę lokalnych uwarunkowań hydrogeologicznych, które powodowały gromadzenie się większej niż gdzie indziej ilości wody, która umożliwiła powstanie różnych form lodu gruntowego, a wskutek jego wytapiania – tworzenie zagłębień termokrasowych. Czynnikiem sprzyjającym gromadzeniu się wody mogła być obecność miększych pokładów gliny zwalowej pod lessami, tworzących warstwę nieprzepuszczalną.

Czarnecki i Lewartowska-Urbańska (1987) podkreślają znaczenie urozmaiconej rzeźby podłoża podlessowego w powstaniu pierwotnych zagłębień bezodpływowych. Twierdzą, że zagłębienia bezodpływowe są odbiciem nierówności podłoża lessów, zbudowanego z plejstocenijskich osadów glacialnych. W holoenie pierwotne zagłębienia były pogłębiane w wyniku rozwoju procesów sufozji (Czarnecki, Lewartowska-Urbańska 1987; Czarnecki 1996).

O zagłębieniach bezodpływowych obszarów lessowych wspomina również Klatkowa (1997), opisując ich zróżnicowanie genetyczne w obrębie różnorodnych pod względem litogenetycznym osadów w centralnej Polsce. Według autorki zagłębienia bezodpływowe obszarów lessowych tworzyły się w wyniku rozwoju sufozji chemicznej i mechanicznej.

Badania prowadzone w ostatnich latach na Płaskowyżu Nałęczowskim pozwoliły na udokumentowanie pod dnami zagłębień bezodpływowych struktur kriogenicznych takich jak: pseudomorfozy po klinach lodowych, struktury szczelinowe, deformacje kriogeniczne (Kołodyńska-Gawrysiak i in. 2017). Obecność tego typu struktur sugeruje, że niektóre zagłębienia bezodpływowe mogły powstawać lub być pogłębiane w wyniku wytapiania różnych form lodu gruntowego – głównie klinów lodowych. Miejscami predysponowanymi do tworzenia się tego typu zagłębień termokrasowych były miejsca krzyżowania się sieci poligonów szczelinowych wypełnionych klinami lodowymi. Ta hipoteza znajduje potwierdzenie w rozkładzie pre-

strzennym zagłębien bezodpływowych (na podstawie danych LIDAR) w zestawieniu z czytelnymi na zdjęciach satelitarnych śladami po kriogenicznych sieciach poligonalnych, dokumentowanych także przez wyniki sondowań elektrooporowych oraz georadarowych (Kołodzyńska-Gawrysiak, materiały niepublikowane). Duże znaczenia dla tworzenia się zagłębien bezodpływowych w warunkach peryglacialnych miały uwarunkowania hydrogeologiczne, które określiły rozkład przestrzenny form (Kołodzyńska-Gawrysiak i in. 2015a). Procesy wytapiania lodu wypełniającego sieci poligonów szczelinowych doprowadziły do powstania zagłębien bezodpływowych udokumentowanych na obszarze równin morenowych Wielkopolski (m.in.: Stankowski 2012). W tym rejonie występowanie różnej generacji sieci poligonów szczelinowych dokumentuje także Ewartowski i in. (2016).

Wśród procesów wpływających na genezę oraz ewolucję zagłębien bezodpływowych obszarów lessowych należy uwzględnić hydrokonsolidację. W warunkach infiltracji wód procesowi temu powszechnie ulegają lessy, ze względu na zawartość węglanów oraz substancji ilastej (Rogers i in. 1994; Smalley i in. 2006; Smalley, Markowicz 2014). Pod wpływem hydrokonsolidacji zachodzą zmiany w mikrostrukturze lessów (np. niszczenie mostków ilastych, zmiany orientacji i upakowania ziaren mineralnych oraz ilości i rozmieszczenia substancji ilastej) prowadzące do ich osiadania. W konsekwencji proces ten może przyczynić się do pogłębienia inicjalnych zagłębien bezodpływowych lub tworzenia nowych form.

Znaczenie zagłębien bezodpływowych oraz kierunki dalszych badań

Dalsze badania genezy zagłębien bezodpływowych mogą mieć istotny wpływ na lepsze poznanie udziału morfogenezy peryglacialnej w kształtowaniu rzeźby obszarów lessowych Europy. Wyraźne różnice dotyczące przyczyn powstawania zagłębien bezodpływowych w obrębie wschodniej i zachodniej części europejskiego pasa lessów mogą sugerować między innymi wpływ uwarunkowań klimatycznych na zróżnicowanie cech zmarzliny oraz warunków jej degradacji podczas późnego vistulianu (Kołodzyńska-Gawrysiak, Poesen 2017).

Zagłębienia bezodpływowe pełnią funkcję lokalnych bezodpływowych basenów sedymentacyjnych, stwarzając wyjątkowe warunki dla zachowania gleb i osadów koluwalnych wraz z zawartym w nich zapisem holocenijskiej ewolucji gleb i krajobrazu, dokonującej się pod wpływem zmian klimatu oraz działalności człowieka.

Są to zatem ważne archiwa przechowujące sedymentologiczny i paleopedologiczny zapis zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych procesów oddziałujących w przeszłości. Badanie wypełnień zagłębien bezodpływowych odgrywa ważną rolę w rekonstrukcji zmian krajobrazu, ewolucji gleb oraz użytkowania terenu podczas holocenu, umożliwiając także lepsze poznanie i zrozumienie interakcji człowiek–środowisko.

Tereny lessowe wskutek długotrwałego użytkowania rolniczego oraz podatności na erozję wodną są silnie zagrożone erozją gleb. Liczne badania współczesnej i historycznej erozji gleb są prowadzone na terenie pokryw lessowych Europy (m.in.: Boardman, Poesen (red). 2006; Dreibrodt i in. 2010). Głównym problemem badań nad erozją gleb w przeszłości jest niekompletność sedymentologicznego zapisu będącego podstawą analiz, podczas gdy gromadzące się w zagłębieniach bezodpływowych koluwia nie podlegają odprowadzeniu, dając kompletny zapis sedymentologiczny. Dzięki temu stanowią one dobrą podstawę ilościowej oceny tempa erozji gleb w holocenie dla poszczególnych faz użytkowania terenu i mogą być przesłanką do formułowania prognoz rozwoju erozji gleb w przyszłości.

Osady koluwalne zgromadzone w zagłębieniach bezodpływowych stanowią także naturalne „zbiorniki” węgla organicznego oraz substancji odżywczych, jak również metali ciężkich i innych substancji mineralnych, różnicując tym samym warunki siedliskowe na terenach leśnych oraz użytkowanych rolniczo. Ponadto w obszarach użytkowanych rolniczo zagłębienia bezodpływowe silnie wpływają na zróżnicowanie stosunków wodnych, co w kontekście wysokości plonów może powodować zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki (Kołodzyńska-Gawrysiak, Chabudziński 2014). Obecność zagłębien bezodpływowych rzutuje zatem na urodzajność gleb oraz produktywność przestrzeni rolniczej. Potrzebne są dalsze szczegółowe badania wpływu zagłębien bezodpływowych na przestrzenne zróżnicowanie jakości gleb oraz wysokości plonów. Rozwój prac badawczych w tym kierunku może mieć znaczenie dla planowania przestrzennego, rolnictwa i leśnictwa. Wydaje się, że ważnym aspektem badań zagłębien bezodpływowych byłby także kierunek związany z od-

działaniem procesów erozji na obieg węgla organicznego oraz jego wpływ na zmiany środowiska.

Podsumowanie

Analiza stanu dotychczasowych badań dotyczących zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych Polski pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Dotychczasowe badania zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych Polski zaoferowały rozpoznaniem: cech morfometrycznych form, prawidłowości dotyczących ich rozmieszczenia w skali regionalnej, wieku i genezy sekwencji osadowo-glebowych wypełniających zagłębienia.

2. Istniejące dotychczas koncepcje genetyczne zakładały, że zagłębienia bezodpływowe powstawały przy udziale takich procesów jak nierównomierna akumulacja lessu, deflacja, wyciskanie poziomów kurzawkowych oraz sufozja.

3. Wyniki nowszych badań przeprowadzonych na Płaskowyżu Nałęczowskim sugerujące termokrasowe pochodzenie niektórych form, skłaniają do ponownego podjęcia dyskusji nad genezą zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych.

4. Badania zagłębień bezodpływowych mogą dostarczyć danych dotyczących: ilościowej oceny tempa erozji gleb, wpływu erozji gleb na obieg węgla, przestrzennego zróżnicowania jakości gleb.

5. Dalsze badania genezy zagłębień bezodpływowych są ważne dla lepszego poznania postglacjalnej morfogenezy obszarów lessowych.

Badania były finansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki przeznaczonych na realizację grantu 2012/07/B/ST10/04164, PB-B-12-287-00-13 pt. „Geneza i ewolucja zagłębień bezodpływowych obszarów lessowych Wyżyny Lubelskiej oraz ich znaczenie dla rekonstrukcji postglacjalnej morfogenezy obszarów lessowych”.

Literatura

Boardman J., Poesen J. (red.) 2006. Soil Erosion in Europe. John Wiley&Sons: Chichester.
Czarnecki R. 1969. Z badań krajobrazu fizyczno-geograficznego w dorzeczu Opatówki. *Przegląd Geograficzny* XLI(1): 35-59.

Czarnecki R. 2005. Wyżyna Sandomierska, część wschodnia. Struktura krajobrazu geograficznego. Warszawa: 1-251.
Czarnecki R., Lewartowska-Urbańska M. 1987. Wymoki okolic Sandomierza. *Przegląd Geograficzny* LIX(3): 385-397.
Czarnecki R., Solnceva N.P. 1992. Wymoki okolic Sandomierza (part II.). *Przegląd Geograficzny* LXIII(1-2): 143-149.
Dreibrodt S., Lubos C., Terhorst B., Damm B., Bork H.R. 2010. Historical Soil Erosion by Water in Germany: Scales and Archives, Chronology, Research Perspectives. *Quaternary International* 222: 80-95.
Ewartowski M., Kijowski A., Szuman I., Tomczyk A., Kasprzak L. 2016. Low-altitude remote sensing and GIS-based analysis of cropmarks: classification of past thermal-contraction crack polygons in central western Poland. *Geomorphology* (in press).
Gillijns K., Poesen J., Deckers J. 2005. On the characteristics and origin of closed depression in loess-derived soils in Europe – a case study from central Belgium. *Catena* 60: 43-58.
Hardcastle J. 1908. Notes on the Geology of South Canterbury. Timaru Herald.
Kalniet A. 1954. O oczkach lodowcowych i zagłębieniach bezodpływowych. *Czasopismo Geograficzne* 25: 1-2.
Klatkowa H. 1997. Zagłębienia bezodpływowe w Polsce Środkowej i przydatność analizy ich wypełnień do interpretacji paleogeograficznych. *Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Physica* 1: 23-45.
Kołodyńska-Gawrysiak R. 2015. Tło geograficzne. Środowiskowe uwarunkowania lokalizacji osadnictwa. W: T. Chmielewski, E. Mitrus (red.) *Pliszczyn. Eneolityczny kompleks osadniczy na Lubelszczyźnie*. Wydawnictwo i Pracownia Archeologiczna Profil-Archeo: 19-28.
Kołodyńska-Gawrysiak R., Bienia M. 2010. Conditioning and development of the Holocene denudation in regions of multiculture archaeological site in Panieńszczyzna near Lublin. *Prace i Studia Geograficzne* 45: 89-104.
Kołodyńska-Gawrysiak R., Chabudziński Ł. 2012. Morphometric features and distribution of closed depressions on the Nałęczów Plateau (Lublin Upland, SE Poland). *Annales UMCS LXVII* (1): 45-61.
Kołodyńska-Gawrysiak R., Chabudziński Ł. 2014. The types and function of closed depressions in modern loess landscape of Nałęczów Plateau (Lublin Upland, E Poland). *Annales UMCS* 69 (1): 61-77.
Kołodyńska-Gawrysiak R., Poesen J. 2017. Closed depressions in the European loess belt – natural or anthropogenic origin? *Geomorphology* 288:111-128.

- Kołodzyńska-Gawrysiak R., Chodorowski J., Mroczek P., Plak A., Kiebała A., Zgłobicki W., Trzciniński J., Standzikowski K. 2017. The impact of natural and anthropogenic processes on the evolution of closed depressions in loess areas. A multi-proxy case study from Nałęczów Plateau, Eastern Poland. *Catena* 149(1): 1-18.
- Kołodzyńska-Gawrysiak R., Harasimiuk M., Chabudziński Ł., Jezierski W., Telecka M. 2015a. Geological conditions of the distribution of closed depressions in the Nałęczów Plateau (Lublin Upland, E Poland): are they an origin determinant? *Landform Analysis* 29: 9-18.
- Kołodzyńska-Gawrysiak R., Mroczek P., Chabudziński Ł., Harasimiuk M., Chodorowski J., Zgłobicki W., Plak A., Kiebała A. 2015b. Zagłębienia bezodpływowe obszarów lessowych Wyżyny Lubelskiej – rozmieszczenie, cechy morfologiczne i znaczenie dla rekonstrukcji postglacjalnej ewolucji środowiska i działalności człowieka. Kongres Geografów Polskich „Granice Geografii”, 17-21 czerwca 2015 r., Lublin.
- Kołodzyńska-Gawrysiak R., Mroczek P., Chodorowski J., Plak A., Kiebała A., Zgłobicki W. 2015c. Human induced landscape evolution in the loess areas of Lublin Upland, E Poland: evidence from pedosedimentary archives in closed depressions. *Zeitschrift für Geomorphologie* 59, SI 2: 155-175.
- Kołodzyńska-Gawrysiak R., Mroczek P., Chabudziński Ł. 2013a. Cechy osadów i rozwój sedymentacji w zagłębieniach bezodpływowych obszarów lessowych na przykładzie stanowiska Snopków (Płaskowyż Nałęczowski, E Polska). *Prace i Studia Geograficzne UW* 51: 29-44.
- Kołodzyńska-Gawrysiak R., Mroczek P., Chabudziński Ł. 2013b. Closed depressions in the Prehistoric loess landscape and their influence on settlement location in the light of selected examples from the Nałęczów Plateau (Lublin Upland, E Poland). *Archaeologia Polona* 49: 37-54.
- Kołodzyńska-Gawrysiak R., Poesen J., Gawrysiak L. 2017. Assessment of long-term Holocene soil erosion rates in Polish loess areas using sedimentary archives from closed depressions. *Earth Surface Processes and Landforms* (DOI: 10.1002/esp.4296).
- Konecka-Betley K., Maruszczak H. 1993. Rozwój holocenijskiej pedogenezy w wymokach obszarów lessowych okolic Lublina. *Roczniki Gleboznawcze* 34(1): 153-163.
- Криштафович Н.И. 1896. Поспетретичныя образования в окрестностях Н. Александрии. Эписки Н. Александрійского Института Сельского Хозяйства и Лесоводства. т. IX, вып. 3: 149-216.
- Криштафович Н.И. 1902. Гидро-геологическое описание территории города Люблина и его окрестностей. Типография Варшавского Учебного Округа, Варшава.
- Malicki A. 1946. Kras lessowy. The karst phenomena in the beds of loess. *Annales UMCS* 1 (4): 1-155.
- Maruszczak H. 1954. Warteby obszarów lessowych Wyżyny Lubelskiej. *Annales UMCS* 8: 123-237.
- Maruszczak H., Uziak S. 1978. Wpływ mikrorzeźby obszarów lessowych na zróżnicowanie procesów glebotwórczych. *Roczniki Gleboznawcze* 29(3):159-173.
- Norton L.D. 1986. Erosion–sedimentation in a closed drainage basin in Northwest Indiana. *Soil Science Society of American Journal* 50: 209-213.
- Rafalska-Przysucha A., Rejman J. 2015. Assessment of soil erosion in the catchment of two combined closed depressions in the Nałęczów Plateau (Lublin Upland). *Acta Agrophisica* 22(1): 91-101.
- Rogers C.D.F., Dijkstra T.A., Smalley I.J. 1994. Hydroconsolidation and subsidence of loess: Studies from China, Russia, North America and Europe: In memory of Jan Sajgalik. *Engineering Geology* 37: 83-113.
- Smalley I.J., Markovic S.B. 2014. Loessification and hydroconsolidation: There is a connection. *Catena* 117: 94-99.
- Smalley I.J., Mavlyanova N.G., Rakhmatullaev Kh.L., Shermatov M.Sh., Machalet B., O'Hara Dhand K., Jefferson I.F. 2006. The formation of loess deposits in the Tashkent region and parts of Central Asia; and problems with irrigation, hydrocollapse and soil erosion. *Quaternary International* 152-153: 59-69.
- Stankowski W. 2012. Transformation from natural (thermal contraction) to anthropogenic (resource exploitation) depressions in the Krotoszyn-Koźmin-Raszków area (Polish Lowland). *Geologos* 18(1): 43-50.
- Vanwalleghem T., Poesen J., Vitse I., Bork H. R., Dotterweich M., Schmidtchen G., Deckers J., Lang A., Mauz B. 2007. Origin and evolution of closed depression in central Belgium, European loess belt. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: 574-586.
- Wojtanowicz J. 1997. Geneza i wiek jeziorok grodziskich. W: M. Łanczont (red.) Seminarium „Glacja i peryglacja Kotliny Sandomierskiej i Przedgórze Karpat w okolicy Przemyśla”. Materiały konferencyjne, UMCS: 118.
- Wojtanowicz J., Józwiakowska E. 1997. Jeziorka okolic Grodziska - występowanie, charakterystyka. W: M. Łanczont (red.) Seminarium „Glacja i peryglacja Kotliny Sandomierskiej i Przedgórze Karpat w okolicy Przemyśla”. Materiały konferencyjne, UMCS: 113-117.

Summary

Closed depressions (CDs) are typical geomorphological features of the loess belts in Europe. This paper presents the current state of the research on CDs in the loess belts in Poland and the scope of further research. A review was conducted of several studies describing CDs and discussing their origin and evolution in the loess areas of Poland. These studies have contributed to the identification of a) morphometric features of CDs, b) regularity of the distribution of CDs on the regional scale, c) age and origin of soil-sediment sequences infilling the CDs. Detailed studies of CDs in Poland suggest that CDs are natural landforms: uneven loess deposition, deflation, suffusion, extrusion of strongly saturated layers and thermokarst formation are reported as possible genetic processes. The results of a new study in the Nałęczów Plateau suggest the con-

tribution of thermokarst processes to the morphogenesis of some forms. Therefore, the discussion on the origin and evolution of closed depressions in Poland's loess areas should be reopened. Closed depressions can be used in diverse studies including: a) quantification of soil erosion rates, b) the impact of soil erosion on carbon flux, c) spatial diversity of soil quality. More studies on the genesis and evolution of CDs are needed to improve our understanding of the postglacial morphogenesis of the loess areas in Poland.

This research was financially supported by the National Center of Science Grant 2012/07/B/ST10/04164, PB-B-12-287-00-13: The origin and evolution of closed depressions in the loess areas in the Lublin Upland and their importance for the reconstruction of postglacial morphogenesis of the loess cover.