

Wojciech Tołoczko¹ • Aleksander Szmidt¹ • Rafał Fijałkowski²¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geografii Fizycznej² Absolwent Wydziału Nauk Geograficznych UŁE-mail: wojciech.toloczko@geo.uni.lodz.pl; aleksander.szmidt@geo.uni.lodz.pl

Wpływ tężni solankowych na właściwości gleb miasta Ciechocinek

Influence of brine graduation towers on the soil properties of Ciechocinek

Zarys treści

Badano gleby w Ciechocinku. Wyznaczono punkty badawcze w mieście i jego okolicach. Badano podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne gleb, w tym zasolenie gleb. Po przeprowadzonych badaniach można stwierdzić, że zasolone gleby znajdują się tylko na obszarze ograniczonym tężniami solankowymi nr I, II, III oraz w bliskim pasie otulającym tężnie. Gleby zasolone zajmują powierzchnię 28 hektarów, a zmierzona wartość wyniosła 2,35 [g (NaCl) · dm⁻³] gleby, co po uwzględnieniu gęstości objętościowej 1,86 kg · dm⁻³ gleby stanowi ok. 0,437% NaCl. Obszar ten według zaleceń FAO można zaliczyć do gleb średnio zasolonych, 2 klasa zasolenia. Pozostałe gleby, poza tężniami solankowymi, nie wykazały istotnego zasolenia.

Słowa kluczowe Tężnie solankowe w Ciechocinku, zasolenie gleb.

Abstract

Soils in Ciechocinek were tested. Research points have been designated in the city and its surroundings. The basic physical and chemical properties of soils were examined, including soil salinity. After the conducted research, it can be concluded that saline soils are located only in the area limited by brine graduation towers No. I, II, III and in the close zone surrounding the graduation towers. Saline soil covers an area of 28 hectares, and the measured value was 2.35 [g (NaCl) · dm⁻³] of soil, which, after taking into account the bulk density of 1.86 kg · dm⁻³ of soil, is approximately 0.437% NaCl. According to FAO recommendations, this area can be classified as medium-saline soil, salinity class 2. The remaining soils, apart from brine graduation towers, did not show significant salinity.

Keywords Brine graduation towers in Ciechocinek, soil salinity.

1. Wprowadzenie

Gleby okolic Ciechocinka są pod wpływem aerozoli, które unoszą się wokół tężni solankowych i przewiewane są dalej na okoliczne grunty. Może to powodować ich zasolenie. Sole mineralne są naturalnie obecne w glebie, ale nadmierne ilości soli rozpuszczalnych, mogą powodować problemy z metabolizmem mikroorganizmów glebowych i niekorzystnie wpływać na plony. Na wilgotnych i niezasolonych glebach rośliny mogą łatwo pobierać wodę. Suche warunki glebowe, ale także nadmierne ilości rozpuszczonych soli zmniejszają dostępność wody w glebie, wstrzymując lub spowalniając pobieranie wody przez rośliny.

Zasolenie gleb jest definiowane jako zawartość soli w jednostce objętości wody glebowej i podawana w gramach soli na litr wody lub (tak jak w tym artykule) w gramach soli na litr gleby. Stosując metodę wagową można zbadać gęstość objętościową, a zasolenie gleby określić w gramach chlorku sodu w 1 kg gleby. To również umożliwia uzyskanie wyniku zasolenia gleby w % wagowych.

Inną stosowaną metodą pomiaru zasolenia jest pomiar elektrycznej konduktywności pasty glebowej, otrzymywanej przez zmieszanie w odpowiednich proporcjach

wody destylowanej z próbką glebową. Mierzona wartość w milisimensach jest liniowo zależna od zawartości soli i wyrażana w jednostkach mS · m⁻¹ (Wilczek i in. 2012).

1.1. Cele pracy

Głównym celem badań było zbadanie gleb z terenu gminy Ciechocinek i przeanalizowanie, czy tężnie zlokalizowane w centrum miasta mają wpływ na zasolenie okolicznych gleb.

Hipoteza badawcza zakładała, że proces podwyższania zasolenia gleby występuje równomiernie w okolicach tężni. Zaplanowano zbadanie gleb z gminy Ciechocinek oddalonych do 4 km od tężni.

1.2. Metody badawcze

Wykonano prace terenowe polegające na pobieraniu próbek z poziomów próchnicznych gleb z głębokości 3–15 cm. Oznaczono ich lokalizację na mapie i wykonano dokumentację fotograficzną. Wszystkie badania laboratoryjne pobranych próbek zostały wykonane w laboratorium Wydziału Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego wg powszechnie znanych i stosowanych metod gleboznawczych.

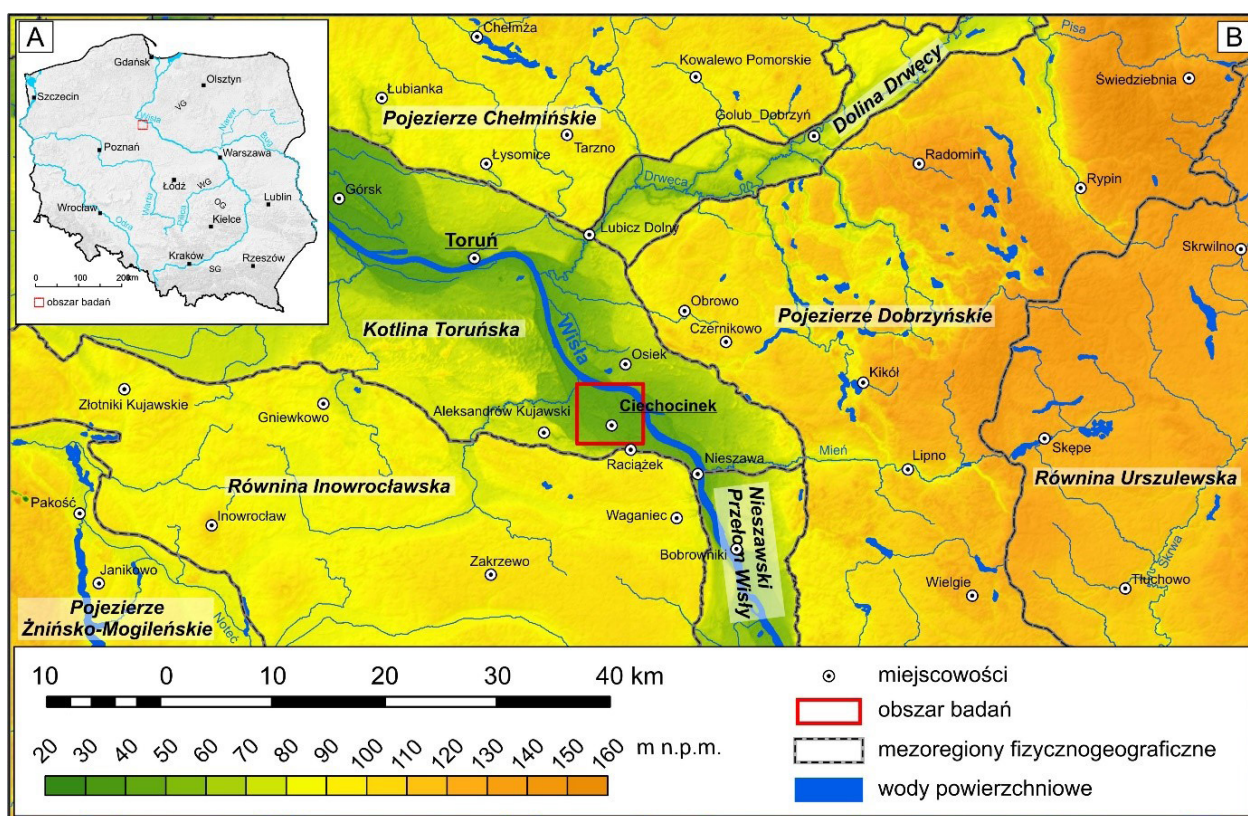
Oznaczono: skład granulometryczny metodą areometryczno-sitową; zasolenie gleb z wykorzystaniem solomierza CC-216; odczyn gleb metodą potencjometryczną elektrodą zespoloną w zawieszinie gleba–woda oraz gleba–roztwór 1M KCl (w ilościach 12 g gleby i 30 ml wody/roztworu); zawartość węgla organicznego metodą Tiurina; właściwości sorpcyjne gleb metodą Kappena (Gąsior i in. 2013; Kabała, Karczewska 2019).

2. Położenie obszaru badań i wybrane elementy środowiska geograficznego

Miasto Ciechocinek położone jest na granicy Centralnej i Północnej Polski (rys. 1A), w województwie kujawsko-pomorskim w północnej części powiatu aleksandrowskiego. Ciechocinek zlokalizowany jest blisko Torunia (rys. 1B), pełniącego część funkcji administracyjnych województwa. Wybudowanie autostrady A1 poprawiło dostępność

komunikacyjną uzdrowiska. Miasto położone jest w dolinie Wisły na jej zachodnim brzegu, około 2 kilometrów od głównego koryta rzeki.

Według regionalizacji fizycznogeograficznej (Solon i in. 2018), badany teren położony jest w megaregionie Pozaalpejskiej Europy Środkowej (3), prowincji Niżu Środkowoeuropejskiego (31), podprowincji Pojezierza Południowo-bałtyckiego (315), makroregionu Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej (315.3), mezoregionu Kotliny Toruńskiej (315.35). W jego najbliższym sąsiedztwie położone są mezoregiony: Dolina Drwęcy (315.13), Dolina Fordońska (314.83), Nieszawski Przełom Wisły (315.37), Pojezierze Chełmińskie (315.11), Pojezierze Dobrzyńskie (315.14), Równina Inowrocławska (315.55). Według regionalizacji glebowej Polski (Tołoczko 2020), gleby Ciechocinka zlokalizowane są w regionie: Gleby Wielkich Dolin Rzecznych (5). W przypadku regionalizacji geomorfologicznej (Gilewska 1986), badany obszar przypisany jest do Kotliny Toruńskiej (A II. g4).



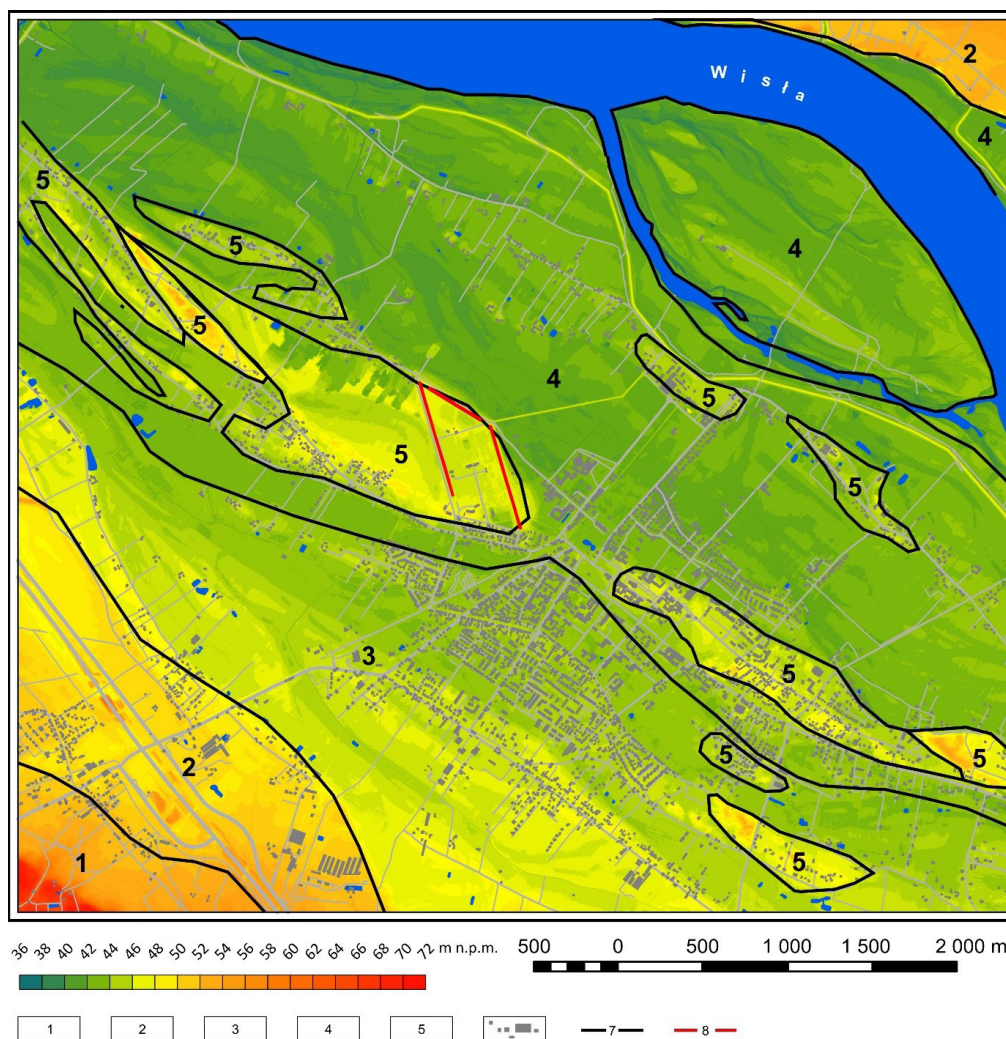
Rys. 1. Położenie obszaru badań (oprac. własne na podstawie danych GUGiK)

Fig. 1. Location of the research area (own study based on GUGiK data)

Ukształtowanie powierzchni terenu analizowanego obszaru należy rozpatrywać w dwóch aspektach, jako części fragmentu Kotliny Toruńskiej (bardziej urozmaity relief) oraz obszaru samego Ciechocinka (relief mało urozmaity). W przypadku Ciechocinka (rys. 2) dominuje terasa zalewowa oraz terasa niższa urozmaicona polami piasków eolicznych oraz wydymami, w większości zniszczonymi na potrzeby rozwoju miasta.

Najstarsze nawiercone osady w okolicach Ciechocinka datuje się na trias i są to najczęściej łupki, piaskowce,

wapienie dolomityczne, iłowce i mułowce z wkładkami piaskowców (Krawiec 1999). Nad tymi osadami zalegają warstwy jurajskie osiagające miąższość około 1300 m. Ogólnie są to wapienie, wapienie margliste, mułowce, piaskowce i łupki. Na skałach wieku jurajskiego zalegają małej miąższości ility (do kilkunastu metrów) wieku miocenińskiego. Wyżej położone są już osady czwartorzędowe o miąższościach w granicach od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Osady te zróżnicowane są w zależności od formy geomorfologicznej, którą tworzą (rys. 2).



Rys. 2. Szkic geomorfologiczny obszaru badań na tle ukształtowania powierzchni terenu
 1 – terasy wysokie (70–80 m n.p.m.), 2 – terasy średnie (50–65 m n.p.m.), 3 – terasy niskie (45–50 m n.p.m.),
 4 – terasy zalewowe (38–45 m n.p.m.), 5 – pola piasków eolicznych i wydmy, 6 – budynki, 7 – drogi, 8 – tężnie
 (oprac. własne na podstawie (Łyczewska 1975) oraz danych GUGIK)

Fig. 2. Geomorphological sketch of the research area against the background of the terrain
 1 – high terraces (70–80 m.a.s.l.), 2 – medium terraces (50–65 m.a.s.l.), 3 – low terraces (45–50 m.a.s.l.),
 4 – flood terraces (38–45 m.a.s.l.), 5 – aeolian sand fields and dunes, 6 – buildings, 7 – roads, 8 – graduation towers
 (own study based on (Łyczewska 1975) and GUGIK data)

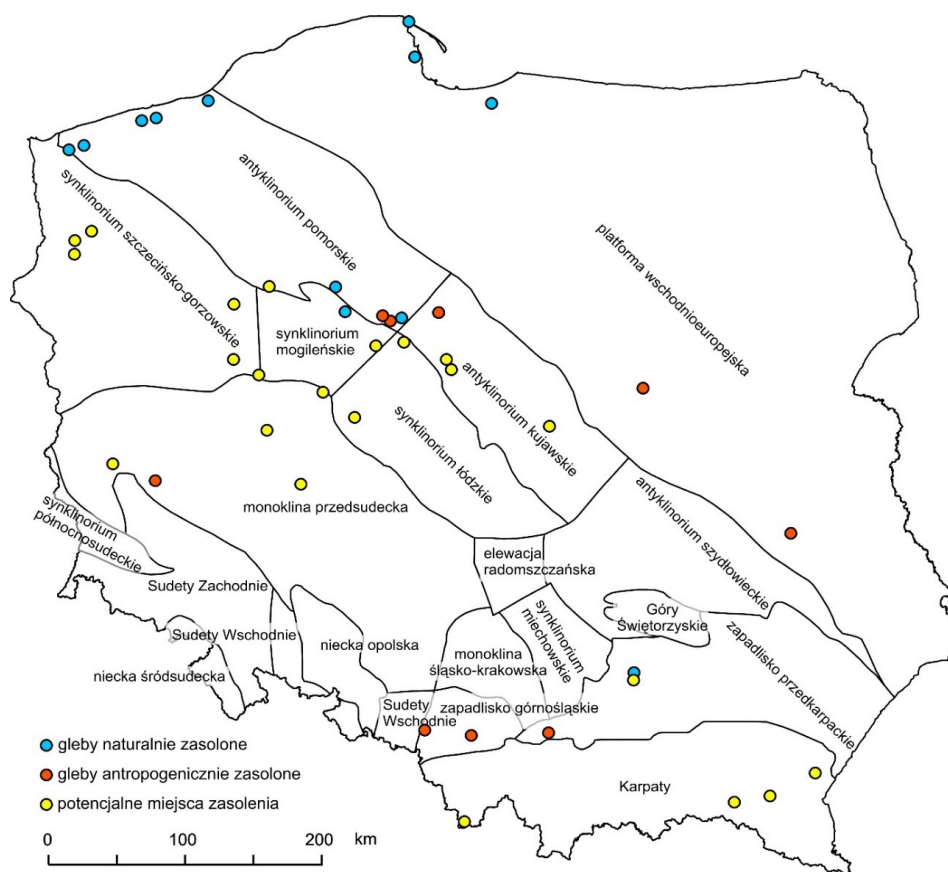
Pod względem ukształtowania terenu obszar ten jest dość mało urozmaicony, zaś decydujący czynnik funkcji uzdrowiskowych Ciechocinka stanowi wgłębna budowa geologiczna i związane z nią wody solankowe (rys. 3). Ciechocinek położony jest w obrębie antyklinorium kujawskiego (Karnkowski 2008) lub wału kujawskiego (Markiewicz, Dadlez 2008), gdzie najbardziej na wschód wysunięta jest jurajska elewacja Ciechocinka (Krawiec 1999).

Najważniejsze zarysy Kotliny Toruńskiej powstały w czasie wistulianu w fazie pomorskiej i związane są z genezą pradoliny Noteci–Warty z przepływem wód roztopowych w kierunku zachodnim oraz na północ w stronę Basenu Grudziądzkiego (Galon 1934, 1961, 1968 za: Weckwerth 2007). Tą formą terenu sphywały duże ilości wody roztopowej doprowadzanej szlakami sandrowymi Brdy, Gwdy, Wdy, Drwęcycy oraz ze strefy ekstra glacialnej jako wody rzeczne pierwotnej Wisły i Noteci (Banaszak 1996).

W wyniku prowadzonych badań, Galon (1961) wydzielił w Kotlinie Toruńskiej aż jedenaście teras.

P. Weckwerth (2007) wskazuje, że na formowanie się tej formy geomorfologicznej wpływać mogły struktury starszego podłoża, takie jak dyslokacje tektoniczne i ukształtowanie stropu powierzchni podczwartorzędowej.

W późnym wistulianie dużą rolę zaczęły odgrywać procesy eoliczne. W wyniku obniżenia się poziomu wód gruntowych, chłodnego i względnie suchego klimatu oraz związanej z tym ograniczonej roślinności zaczęły formować się (w kilku fazach) wydmy. Wraz z holoce-nem następuje ocieplenie klimatu, zwiększenie wilgotności, a zatem ustabilizowanie się wydm, powstawanie obszarów podmokłych wraz z odkładającymi się osadami organicznymi. Okres ten charakteryzuje się powstaniem serii piasków i piasków mułkowatych rzecznych oraz torfów, piasków i namułów torfiastych (Łyczewska 1975).



Rys. 3. Rozmieszczenie gleb zasolonych w Polsce na tle jednostek geologicznych (oprac. własne na podstawie: Hulisz 2007; Karnkowski 2008)

Fig. 3. Distribution of saline soils in Poland against the background of geological units (own study based on: Hulisz 2007; Karnkowski 2008)

3. Historia oraz funkcjonowanie tężni i warzelni soli w Ciechocinku

Ciechocinek to jedno z najbardziej znanych i najczęściej odwiedzanych polskich uzdrowisk, które nierozdzielnie kojarzy się z solą i tężniami (fot. 1). Ciechocińskie tężnie są unikalną budowlą w Europie, a swoją leczniczą i produkcyjną funkcję spełniają już 190 lat.

Dzieje Ciechocinka wiążą się z pobliskim, nadwiślańskim Słońskiem, niegdyś siedzibą kasztelanii i grodem książęcym wzmiankowanym już w 1065 r. Występujące tu źródła solankowe mieszkańcy Słońska wykorzystywali, warząc sól na użytek domowy od XIII wieku. O bogatych solankowych źródłach przypomniano sobie po pierwszym rozbiórze Polski, kiedy żupy krakowskie, zaopatrujące dotąd Rzeczpospolitą w sól znalazły się pod zaborem austriackim. W 1791 r. rozpoczęto w okolicach Słońska i w Ciechocinku prace wiertnicze, ale kolejny rozbiór Polski przekreślił planowane inwestycje. Prace te kontynuowali Prusacy w latach 1798–1801, lecz wybuch wojny prusko-francuskiej znowu na kilka lat wstrzymał podjęte prace (Affelt 2007).

Dopiero utworzenie Królestwa Polskiego (Kongresowego) w 1815 roku umożliwiło dalsze prace poszukiwawcze. Wtedy to Książdz Stanisław Staszic w swym dziele

pt.: „O ziemiórództwie Karpatów i innych gór i równin Polski” wskazał na możliwość przemysłowego wykorzystania zalegających pod Ciechocinkiem pokładów soli. Ks. S. Staszic opisał tężnie, nazywając je szopami graduacyjnymi: „Szopa graduacyjna to podłużna szopa z otwartymi ścianami o kilku piętrach. Na każdym z tych ułożona jest warstwa wiązanego chrustu z ciernia. Woda ze studni słonej pompami w górę rozprowadzana spada po chrustach, aby na najdrobniejsze podzielała się cząstki. W tym jedno wodniste powietrze w się wciąga i unosi, a drugie sole w sobie mające w dół opada” (Affelt 2007).

Budowa ciechocińskich tężni ruszyła w roku 1824. Projekt budowlany, technologiczny oraz ich kosztorys sporządził, pochodzący z Freiburga w Saksonii, profesor Akademii Górniczej w Kielcach inż. Jakub Graff, a pracami budowlanymi kierował – K. Knake. Do 1833 roku zbudowano dwa segmenty: pierwszy „I” o długości 651 m i drugi „II” o długości 724 m. Trzeci „III” segment ciechocińskich tężni oddano do użytku w 1859 r. Był to segment o długości 366 m. Była to więc na owe czasy ogromna inwestycja. Trzy segmenty: I, II i III o łącznej długości 1741 m posiadające u podstawy 10 m szerokości oraz 15,8 m wysokości. Zostały wykonane niemal wyłącznie z drewna – nie licząc ceglanej podmurówki przy III segmencie) (Korzeniewski 1996).

„Szkielek konstrukcji stanowią grube belki wykonane z żywicznego drewna świerkowego, a całość podtrzymują wsporniki z pali dębowych. Na budowę ciechocińskich tężni zużyto łącznie około 19 tysięcy metrów sześciennych drewna, w tym 25% dębiny o średnicy 40–50 cm (1468 sztuk bali dębowych pod podpory konstrukcji tężni) oraz 12 tysięcy sosen, a na same rury rozprowadzające solankę zużyto 800 pni sosnowych o długości 8 m każdy”¹.

Szkielek wypełnia około 50 tysięcy metrów sześciennych faszyny cierniowej – krzewu tarniny, który z racji swej sprężystości najbardziej nadaje się do tego celu (fot. 2 i fot. 3).

Fotografie przedstawiają trzy obiekty bardzo charakterystyczne dla miasta Ciechocinek, czyli: „GRZYBEK”,

¹ [http://www.polskaniezwykla.pl/web/place/50903,ciechocinek-najwieksze-teznie-w-europie-zabytek-techniki-i-architektury-\(1824-1859\).html](http://www.polskaniezwykla.pl/web/place/50903,ciechocinek-najwieksze-teznie-w-europie-zabytek-techniki-i-architektury-(1824-1859).html)

TEŻNIE i WARZELNIA SOLI. Fontanna „Grzybek” (fot. 10), znana jest ze względu na kształt obudowy fontanny wykonanej w 1926 roku według projektu W. Noakowskiego, ur. 1867 w Nieszawie. Ujęcie solanki (odwiert) „Grzybek” oraz Tężnie i Warzelnia soli funkcjonują w ścisłej zależności od siebie tworząc jeden ciąg technologiczny.

Warzelnia soli została uruchomiona w 1830 r. W początkowym okresie posiadała zdolność produkcyjną dochodzącą do 30 ton rocznie. Surowcem do produkcji soli warzonej jest czerpana z odwiertu „Grzybek” solanka o stężeniu około 5,5%. Stąd jest ona doprowadzana do górnej części tężni segmentu pierwszego „I”. Z wąskich korytek umieszczonych na górnym pomoście (fot. 4 i 5), regulowana drewnianymi zaworami, solanka ścieka po gałązkach tarniny w dół².

² https://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/kulturalis_ertekek_a_vilagban/Visegrad_orszagok_techikai_2/pages/lengyel/004_lengyelomuszaki_muemelekei.html



Fot. 1. Tężnia w Ciechocinku – Salina Ciechocińska – zabytek przemysłu rangi światowej (fot. A. Szmidt)

Pic. 1. Graduation tower in Ciechocinek – Salina Ciechocińska – a world-class industrial monument (photo by A. Szmidt)



Fot. 2. Podpory dębowe pokryte nalotem solnym (fot. R. Fijałkowski)

Pic. 2. Oak supports covered with salt coating (photo by R. Fijałkowski)



Fot. 3. Tarnina w ścianie tężni (fot. A. Szmidt)

Pic. 3. Blackthorn in the wall of the graduation tower (photo by A. Szmidt)



Fot. 4. Kanały doprowadzające solankę na szczyt tężni (fot. A. Szmidt)

Pic. 4. Channels supplying brine to the top of the graduation tower (photo by A. Szmidt)



Fot. 5. Solanka, która spłynie na tarninę w tężni (fot. A. Szmidt)

Pic 5. The brine that will flow onto the blackthorn in the graduation tower (photo by A. Szmidt)



Fot. 6. Budynek warzelni (fot. A. Szmidt)

Pic 6. The brewhouse building (photo by A. Szmidt)



Fot. 7. Warzelnia wewnątrz (fot. A. Szmidt)

Pic. 7. The brewhouse inside (photo by A. Szmidt)



Fot. 8. Zbiornik na solankę w warzelni (fot. A. Szmidt)

Pic. 8. Brine tank in the brewhouse (photo by A. Szmidt)



Fot. 9. Spacer wokół tężni (fot. A. Szmidt)

Pic. 9. Walk around the graduation towers (photo by A. Szmidt)



Fot. 10. Fontanna „Grzybek” w centrum Ciechocinka (fot. R. Fijałkowski)

Pic. 10. The „Mushroom” fountain in the center of Ciechocinek (photo by R. Fijałkowski)

Pierwszy sptyw solanki powoduje niewielki wzrost jej stężenia, które wtedy dochodzi do 7%. Dopiero kilkukrotne spadanie solanki po ciernistych gałązkach wszystkich trzech segmentów „I”, „II” i „III” zateższa solankę do około 27%. Każda z tężni posiada w dolnej części zbiorniki gromadzące stężoną solankę. Jej obieg zamknięty, w systemie trzech tężni, regulują pompy elektryczne usytuowane między tężniami w maszynowni. Dawniej pracę tę wykonywały wiatraki umieszczone na tężniach, zachowane do dziś jako elementy zabytkowe i jednocześnie dekoracyjne. Z owych zbiorników solanka, rurociągiem o długości 1,5 km, transportowana jest do Warzelni soli (fot. 6, 7, 8).

Końcowy proces produkcji soli warzonej jest niezwykle prosty. W warzelni solanka dostarczana z tężni, w pierwszym etapie podgrzewana jest w olbrzymich zbiornikach do temperatury 40–45°C. Odprowadzony następnie do niżej położonych panwi roztwór solny podgrzewany jest do temperatury 95–104°C. Gdy roztwór w temperaturze bliskiej wrzenia osiągnie pełne nasycenie, czyli stężenie ok. 30%, następuje proces krystalizacji – wytrącania się kryształków soli. Opadająca na dno panwi sól jest wybierana, odwadniana na okapach nad panwiami, a następnie suszona w bębnach obrotowych. Na wydajność procesu zateższania solanki istotny wpływ wywierają czynniki atmosferyczne: temperatura powietrza, jego wilgotność, siła i kierunek wiatru. Stąd też wynika usytuowanie tężni – prostopadle do przeważających na tym obszarze kierunków wiatru³.

Gotowy produkt warzenia soli nosi handlową nazwę „Ciechocińska sól warzona”. Przymiotnik warzona oznacza właśnie termiczną technologię. Przy warzeniu soli pozyskuje się także szlam i ług leczniczy, produkty wykorzystywane przy zabiegach leczniczych w domowych warunkach, rozprowadzane w aptekach na terenie całego kraju. Obecnie produkcja soli w Ciechocinku nie ma już tak fundamentalnego znaczenia jak w pierwszych latach funkcjonowania zakładu. Współcześnie produkuje się ją przede wszystkim dlatego, aby w drugim ogniwie ciągu mikroklimatu strefy okołotężniowej, zbliżony był on do klimatu nadmorskiego. Zalecane przez lekarzy spacerunki przy tężniach działają uzdrawiająco na schorzenia dróg oddechowych i tarczycy (fot. 9). Ciechocińska sól warzona, obok chlorku sodu, zawiera pierwiastki chemiczne niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka w formie kationów: potasu, wapnia i magnezu oraz anionów: jodanowych i siarczanowych. Bardzo istotną cechą ciechocińskiej soli warzonej jest to, że nie wymaga ona wzbogacenia. Jest produktem naturalnym, który w porównaniu z innymi solami zawiera znacznie wyższe ilości związków jodu. Ciechocińska sól warzona jest często stosowana jako profilaktyka jodowa. Ze względu na te przymioty sól ciechocińska na krajowym rynku nie ma sobie równych (Korzeniewski 1996; Śliwa, Stolarski 2014).

³ <https://vivatakademia.agh.edu.pl/numer-10>

4. Zasolenie gleb

W glebie występuje wiele soli nierozpuszczalnych w wodzie. Wysokie zasolenie gleby wpływa niekorzystnie na: (1) rozwój roślin, (2) unieruchomienie niezbędnych naturalnych składników gleby, (3) ograniczenie dostępności wody dla roślin, (4) powstawanie nieużytków, (5) zmniejszenie bioróżnorodności. Zasolenie gleby obserwuje się, gdy występuje w niej nadmierne stężenie składników mineralnych, zwłaszcza soli takich, jak chlorki, siarczany, węglany czy nawet azotany. Te substancje w mniejszych ilościach występują w glebie w sposób naturalny, ale ich nadmierne ilości, zwłaszcza soli rozpuszczalnych w wodzie, powodują problemy fizjologiczne roślin związane z osmozą (Seelig 2000; Brady, Weil 2002; Munns 2002).

Zasolenie to parametr, który jest dodatnio skorelowany z przewodnictwem elektrolitycznym (przewodnictwem elektrycznym właściwym). Zasolenie można mierzyć w laboratorium tzw. solomierzem, który mierząc konduktancję wszystkich jonów jest wyskalowany tak, aby podać wynik już w przeliczeniu na równoważne zasolenie solą hydrolizującą obojętnie (czyli solą mocnego kwasu i mocnej zasady, najlepiej z jednym stopniem dysocjacji), np. w przeliczeniu na mg NaCl lub mg KCl w 1 dm³ (Tołoczko 2020).

Dane opublikowane w monitoringu 216 pochodzą z przeliczenia wyników przewodnictwa elektrycznego właściwego na umowne stężenie wodnego roztworu chlorku potasu o równoważnym przewodnictwie. Zasolenie gleb powoduje częste lub stałe zasilanie gruntów rolnych wodami gruntowymi lub wodami powierzchniowymi posiadającymi wysokie zmineralizowanie. Wysoki stopień mineralizacji może mieć pochodzenie naturalne lub pochodzenie antropogeniczne, związane z oddziaływaniem przemysłu. Grunty orne będące w monitoringu IUNG (2017) pogrupowane w regiony glebowe Polski to gleby, na których nie stwierdzono zasolenia gleb (Tołoczko 2020).

4.1. Przyczyny i miejsca zasolenia gleb w Polsce

Gleby słone w Polsce występują w strefie brzegowej Morza Bałtyckiego. To jedyna strefa występowania naturalnych gleb słonych. Gleby nadmorskie zasolane są przez: (1) przypływy, podczas których woda zalewa tereny nadmorskie, (2) przesiąkanie wody morskiej do gleby oraz (3) przemieszczenie się wody morskiej w powietrzu jako aerozole. Procesy te nie powodują w glebie stężeń soli szkodliwych dla roślin (Hulisz 2007).

W Polsce podwyższone zasolenie gleb spowodowane jest głównie czynnikami antropogenicznymi. Składowiska odpadów przemysłu hutniczego i sodowego są główną antropogeniczną przyczyną zasolenia gleb. Woda deszczowa wypłukuje sól i przemieszcza ją do gleby i wód powierzchniowych. Dobrym przykładem negatywnego oddziaływania na środowisko były zlikwidowane w latach

1990–1996 Zakłady Sodowe „Solvay” w Krakowie, a także działające Janikowskie Zakłady Sodowe „Janikosoda”, gdzie w sąsiedztwie tych zakładów pojawiła się roślinność słonolubna. Halofity wyparły trawy szlachetne.

W latach 60. XX wieku obserwowano skutki działalności największego w Polsce producenta barwników „Boruta” w Zgierzu. Na glebach zasolonych w dolinie górnej Bzury poniżej Zgierza, pojawiały się rozległe białe wyrzuty solne spowodowane bardzo dużą zawartością jonów w glebie. Na powierzchni gleby powstawały rozległe i charakterystyczne wykwity soli nierozpuszczalnych w wodzie (Trawczyńska, Tołoczko 2005, 2006; Trawczyńska i in. 2009). Podobne zjawisko, ale na znacznie mniejszą skalę obserwowano na zalewowych obszarach doliny Neru będących wtedy pod wpływem nieistniejącego już przemysłu włókienniczego w Łodzi (Laskowski i in. 2006).

Kolejne bardzo szybko rozwijające się ognisko zasolenia związane jest z transportem drogowym, komunikacją samochodową i odśnieżaniem chodników. Aby zapobiec oblodzeniu jezdni i chodników zaczęto stosować mieszanki piaskowo-solne, roztwory solankowe lub drobną sól kamienną. Badania prowadzone w Łodzi potwierdziły podwyższone zasolenie gleb miejskich wzdłuż szlaków komunikacyjnych i na trawnikach w miesiącach zimowych (Tołoczko i in. 2009a).

Zasolenie gleb uprawnych powoduje nadmierowe stosowanie nawozów mineralnych. Niewykorzystane ilości soli nawozowych zwiększają zmineralizowanie roztworu glebowego, ponieważ tylko część nawozów zostaje przyswojona przez rośliny. Podobne zjawisko badano w okolicy dawnej kopalni siarki w Machowie. Badania własne potwierdziły, że długie przebywanie gleb (a szczególnie poziomów próchnicznych) w kontakcie z wodami o średniej lub wysokiej mineralizacji, nawet po kilkunastu latach utrzymuje ich zasolenie i znacząco ogranicza właściwości buforowe tych gleb (Niewiadomski i in. 2009).

Zestawienie zbadanych stanowisk gleb zasolonych w Polsce, uwzględniając podział na źródła zasolenia sporządził P. Hulisz (2007), a inwentaryzacja posłużyła mu do opracowania mapy rozmieszczenia tych gleb. W rozdziale 2 znajduje się modyfikacja tej mapy wg naszej koncepcji, gdzie zawarto lokalizacje stanowisk gleb zasolonych w Polsce na tle jednostek geologicznych (rys. 3).

Problem antropogenicznego zasolenia gleb dotyczy dużych ośrodków przemysłowych, które rozwinęły się na bazie naturalnych kopalni, takich jak węgiel kamienny, sól kamienna czy rudy miedzi. Nie są to jednak wszystkie stanowiska gleb zasolonych w Polsce. Na ich występowanie w innych regionach naszego kraju wskazują także rezultaty badań zawarte w publikacjach z zakresu hydrogeologii. Dlatego ciekawie prezentują się miejsca występowania gleb słonych w połączeniu z miejscami łączenia się jednostek geologicznych na obszarze Polski (rys. 3).

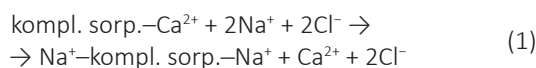
Pośrednie informacje o glebach zasolonych występują często w pracach z zakresu botaniki na temat roślin słonolubnych. W publikacjach o halofitach zamieszczone dane

dotyczą prawie wyłącznie poziomów powierzchniowych (Wilkoń-Michalska 1970). Z tego względu nie jest możliwa jednoznaczna ocena stopni zasolenia gleb. W przypadku innych miejsc, o których można przeczytać w pracach hydrogeologicznych (źródła mineralne, samowypływy wód w miejscu dawnych odwiertów geologicznych), występowanie gleb zasolonych można uznać za bardzo prawdopodobne. Korzystając z takich danych, P. Hulisz (2007) rozszerzył rozmieszczenie gleb zasolonych w Polsce o miejsca ich potencjalnego występowania, które skupiają się głównie w środkowej części kraju oraz w części południowej w regionach: podkarpackim i karpaccim (rys. 3).

4.2. Istota zasolenia gleb i jego wpływ na rośliny

Sorpcja zależy od wielu czynników, m.in. wpływa na nią odczyn gleby, rodzaj i wielkość kationów oraz ich stężenie w roztworze. Bardzo ważną rolę w zjawisku sorpcji odgrywa również stopień uwodnienia jonów. Energia wejścia do kompleksu sorpcyjnego jonów uwodnionych zmniejsza się wraz ze wzrostem ich średnicy. Dzieje się tak, ponieważ im większa jest średnica jonów, tym słabsze jest pole elektryczne wytwarzane przez te jony w roztworze i w efekcie niższy stopień ich uwodnienia (Maciak 1999).

Stan uwilgotnienia gleby również wpływa na sorpcję, powodując zmiany stężenia roztworu glebowego. Z kolei odczyn wpływa na ilości ujemnych ładunków koloidów glebowych. Gleby będące pod działaniem NaCl magazynują sól jako kation wymienny Na^+ w kompleksie sorpcyjnym, gdyż posiada on większą energię wejścia niż kationy metali dwuwartościowych.



Słabiej związany kation wapnia (Ca^{2+}) jest wypierany przez kation sodu (Na^+) wchodzący do kompleksu sorpcyjnego gleby (kompl. sorp.), co ilustruje reakcja (1).

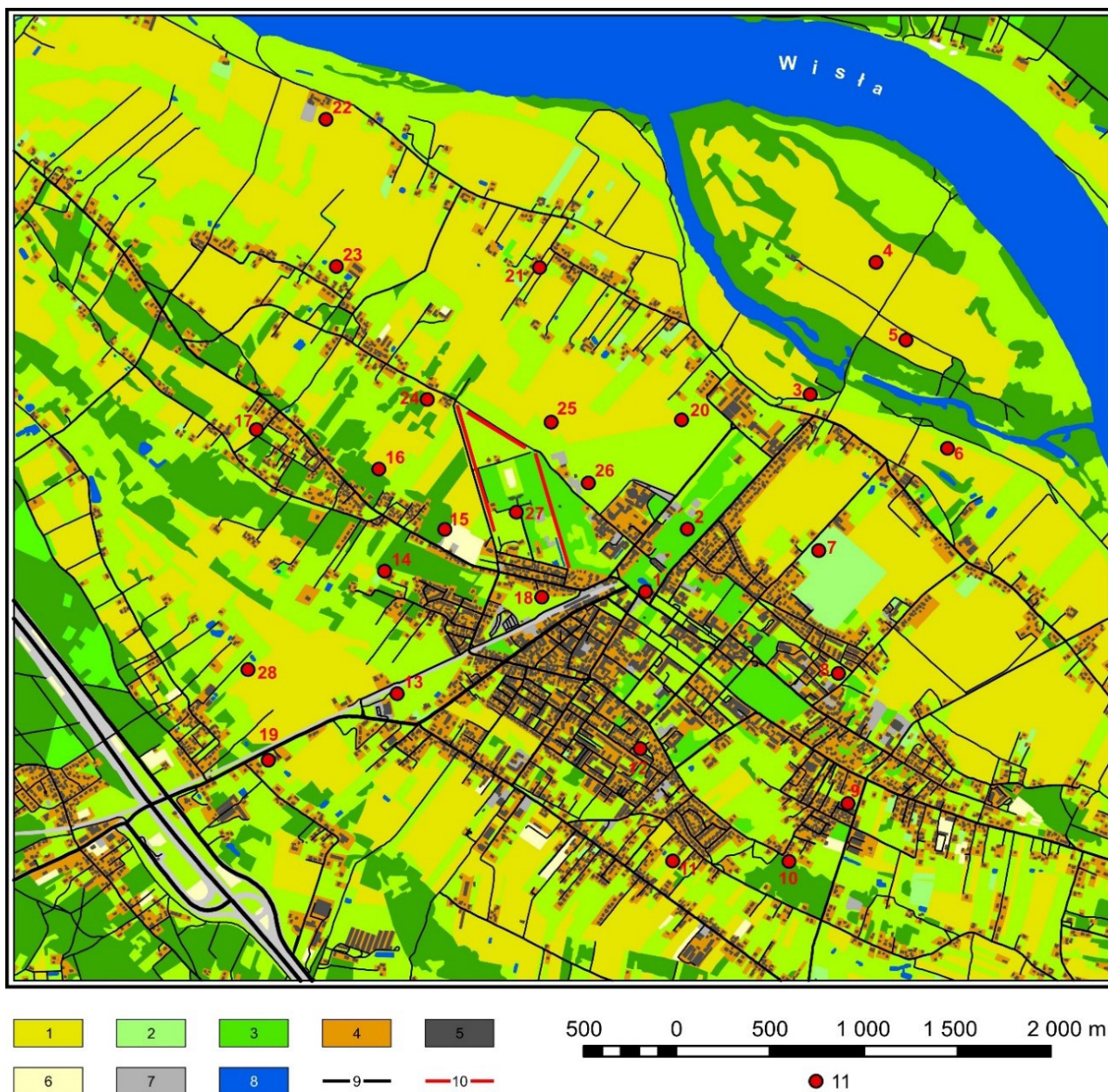
W naturalnych warunkach rośliny są pod wpływem czynników stresowych: abiotycznych i biotycznych. Podwyższone stężenie NaCl w glebie zaliczane jest do czynników abiotycznych. Wyróżnia się trzy typy negatywnego wpływu soli na rośliny tzn. (1) zakłócenie gospodarki jonowej w komórkach roślin, (2) zmiana fizyczności roślin oraz (3) zmniejszona dostępność wody dla roślin (Hasegawa i in. 2000; Munns 2002; Brady, Weil 2002).

Zmniejszona dostępność wody dla roślin powodowana jest wzrostem ilości soli w glebie. Podwyższone stężenie roztworu soli w glebie objawia się rosnącym ciśnieniem osmotycznym, które zatrzymuje wodę w roztworze glebowym. Powoduje to utrudnione pobieranie wody przez rośliny. Zastopowanie rozwoju roślin spowodowane jest odwróceniem kierunku przepływu wody, która to będzie przemieszczała się do roztworu glebowego w celu wyrównania ciśnień. Związane jest to z przewyższeniem ciśnienia płynów komórkowych roślin przez ciśnienie osmotyczne roztworu glebowego. Roztwór

glebowy charakteryzujący się dużym stężeniem soli powoduje, że w komórce następuje spadek napięcia błony komórkowej, co następnie prowadzi do zastopowania wzrostu komórek w początkowej fazie. Długotrwałe działanie stresu solnego może powodować kurczenie się komórek, a nawet ich zamieranie. Stres solny prowadzi również do zahamowania wzrostu korzeni, co przekłada się dalej na mniejsze pobieranie wody z gleby i karłowacenie części nadziemnych (Hasegawa i in. 2000; Munns 2002; Kopcewicz, Lewak 2012).

5. Wyniki badań

Analizując wpływ tężni solankowych na gleby w Ciechocinku, wybrano 28 miejsc poboru próbek glebowych. Było to 16 trawników lub użytków zielonych z poziomem próchnicznym Ad oraz 12 pól uprawnych z poziomem próchnicznym Ap (tab. 1). Badania zaplanowano tak, aby punkty były od siebie równomiernie oddalone i proporcjonalnie rozmieszczone wokół tężni. Właśnie tężnie solankowe i zbiorczą próbkę nr 27 wyznaczono jako centrum obszaru badań (rys. 4).



Rys. 4. Obszar badań i lokalizacja punktów pobrania próbek gleb

1 – roślinność trawiasta i uprawa rolna, 2 – uprawy trwałe, 3 – teren leśny lub zadrzewiony, 4 – tereny zabudowane, 5 – budynki, 6 – inny teren niezabudowany, 7 – tereny komunikacyjne, 8 – wody, 9 – drogi, 10 – tężnie, 11 – miejsca poboru próbek (oprac. własne na podstawie danych GUGiK)

Fig. 4. Research area and location of soil sampling points

1 – grassy vegetation and agricultural crops, 2 – permanent crops, 3 – forest or wooded areas, 4 – built-up areas, 5 – buildings, 6 – other undeveloped areas, 7 – communication areas, 8 – waters, 9 – roads, 10 – graduation towers, 11 – sampling points (own study based on GUGiK data)

5.1. Zasolenie badanych gleb

Wyniki chemicznych badań gleb zamieszczono w tabeli 1. Nie stwierdzono zasolenia gleb na terenach oddalonych od tężni (rys. 5). Przypuszczano, że oddziaływanie słonych aerozoli na okoliczne gleby będzie bardziej wyraźne. Tylko jedna zbiorcza próbka nr 27, która pobrana została dokładnie ze środka placu spacerowego otoczonego

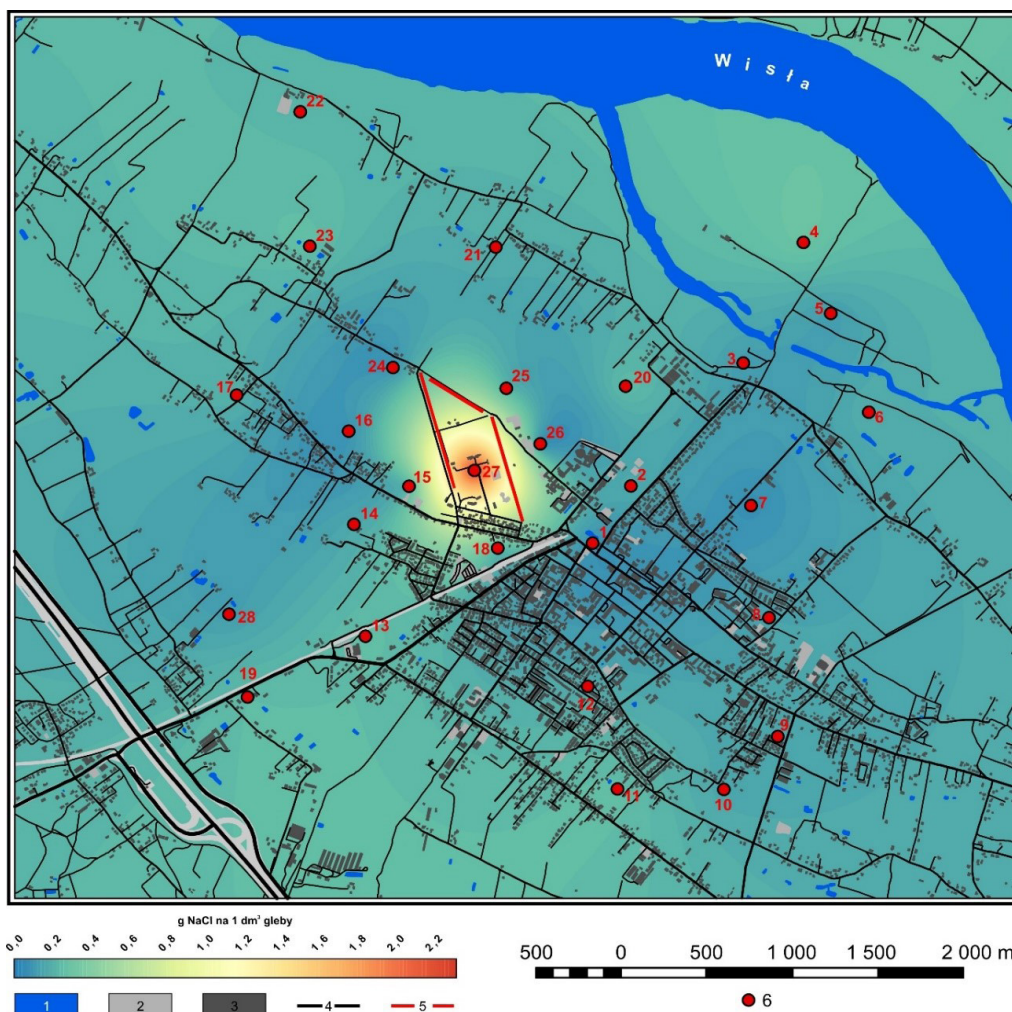
tężniami wykazała największe zawartości soli w przeliczeniu na gramy NaCl w 1 dm³ gleby. Próbka nr 27 posiadała największą zawartość 2,35 [g (NaCl) · dm⁻³] gleby (tab. 1), co po uwzględnieniu gęstości objętościowej 1,86 kg · dm⁻³ gleby stanowi ok. 0,437% chlorku sodu. Do badań nie były pobierane próbki gleb będących bezpośrednio pod oraz blisko tężni, gdyż ściekała na nie solanka i pojawiały się wyraźnie widoczne kryształki chlorku sodu.

Tabela 1. Właściwości chemiczne gleb

Table 1. Chemical properties of soils

Nr próbki i lokalizacja na mapie	Głębokość pobrania próbki glebowej	Symbole poziomów glebowych	Zasolenie w gramach NaCl w 1 dm ³ gleby	pH w H ₂ O	Corg [%]	Hh	S	PWK	V
						cmol (+)/kg gleby			[%]
1	3–10 cm	Ad	0,08	4,7	1,95	3,0	4,0	7,0	57,1
2	3–10 cm	Ad	0,19	7,5	2,62	0,6	45,8	46,4	98,7
3	1–10 cm	Ap	0,13	6,7	2,12	1,6	24,5	26,1	93,9
4	2–10 cm	Ad	0,31	7,6	1,36	0,6	47,3	47,9	98,7
5	2–10 cm	Ap	0,13	7,1	0,94	0,6	18,0	18,6	96,8
6	1–10 cm	Ap	0,20	7,0	1,39	0,6	20,0	20,6	97,1
7	1–10 cm	Ap	0,07	5,3	0,84	2,2	11,5	13,7	83,9
8	3–10 cm	Ad	0,16	7,3	0,68	0,6	13,3	13,9	95,7
9	3–10 cm	Ad	0,17	7,6	1,14	0,8	26,3	27,1	97,0
10	1–10 cm	Ad	0,17	7,7	1,06	0,4	25,3	25,7	98,4
11	2–10 cm	Ad	0,27	7,6	0,91	0,6	51,8	52,4	98,9
12	2–10 cm	Ad	0,19	7,6	0,94	0,8	28,5	29,3	97,3
13	2–10 cm	Ad	0,27	7,8	3,56	0,6	57,3	57,9	99,0
14	3–10 cm	Ad	0,18	7,2	1,21	1,0	12,5	13,5	92,6
15	1–10 cm	Ap	0,22	7,5	2,15	0,8	52,8	53,6	98,5
16	1–10 cm	Ap	0,09	6,5	0,94	1,2	7,3	8,5	85,8
17	2–10 cm	Ad	0,21	7,6	1,16	0,6	39,0	39,6	98,5
18	2–10 cm	Ad	0,23	7,4	0,52	0,6	12,5	13,1	95,4
19	3–10 cm	Ad	0,26	8,0	1,46	0,6	57,0	57,6	99,0
20	2–10 cm	Ad	0,26	6,6	1,84	1,6	13,0	14,6	89,0
21	1–10 cm	Ap	0,20	7,4	1,26	0,8	19,0	19,8	96,0
22	1–10 cm	Ap	0,23	7,8	1,10	0,8	51,5	52,3	98,5
23	1–10 cm	Ap	0,27	8,0	0,56	0,6	57,8	58,4	99,0
24	2–10 cm	Ap	0,09	4,6	0,52	2,8	2,0	4,8	41,7
25	2–10 cm	Ad	0,23	7,6	1,32	1,0	27,8	28,8	96,5
26	2–10 cm	Ap	0,08	4,9	1,16	1,8	0,7	2,5	29,4
27	3–10 cm	Ad	2,35	6,1	2,34	5,0	20,5	25,5	80,4
28	1–10 cm	Ap	0,13	7,0	0,45	1,2	2,7	3,9	69,6

Objaśnienia: Ad – poziom darniowy gleby trawnika lub łąki; Ap – poziom próchniczny gleby ornej; pH – odczyn gleby w wodzie; Corg – zawartość węgla organicznego w glebie; Hh – kwasowość hydrolityczna gleby; S – suma kationów zasadowych; PWK – pojemność wymienna kationów; V – wysycenie gleb kationami zasadowymi.



Rys. 5. Zawartości soli w glebie wyrażone w g (NaCl)/dm³ gleby

1 – wody, 2 – tereny komunikacyjne, 3 – budynki, 4 – drogi, 5 – tężnie, 6 – miejsca poboru próbek (oprac. własne na podstawie danych GUGiK)

Fig. 5. Salt content in the soil expressed in g (NaCl)/dm³ of soil

1 – water, 2 – communication areas, 3 – buildings, 4 – roads, 5 – graduation towers, 6 – sampling sites (own study based on GUGiK data)

5.2. Odczyn badanych gleb

Metodą potencjometryczną przebadano 28 próbek glebowych. Wyniki badań odczynu w wodzie umieszczono w tabeli 1. Tylko trzy próbki o nr 1, 24 i 26 wykazały $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 5$, ale zdecydowana większość wykazała odczyn obojętny lub zasadowy. W całej puli 28 wyników odczynu gleb, minimalna wartość wyniosła $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,6$, zaś maksymalne $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,0$. Ciekawym było, że odczyn gleby w wodzie próbki nr 27 wyniósł jedynie $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,12$. Średnia wartość dla zbioru 28 wyników to $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7,0$. Może to świadczyć o wpływie aerozoli w Ciechocinku na odczyn badanych gleb. Chlorek sodu jest solą hydrolizującą obojętnie, ale nadmierne ilości kationów sodu będą wysycaly kompleks sorpcyjny gleb, wypychały kationy wodoru do roztworu glebowego i poprzez opady deszczu nastąpi wymywanie kationów H^+ z poziomów próchnicznych do wód gruntowych. To może podnosić odczyn takich gleb.

Ponieważ badano poziomy Ap, co do których nie wiadomo czy były wapnowane, w interpretacji wyników oddzielono wyniki z Ap od Ad. Dlatego wydzielono je do porównań i stwierdzono, że 12 wyników odczynu dla poziomów próchnicznych gleb ornych Ap wahał się w granicach od 4,9 do 8,0. Uśredniona wartość 12 wyników odczynu z poziomów Ap wyniosła 6,7.

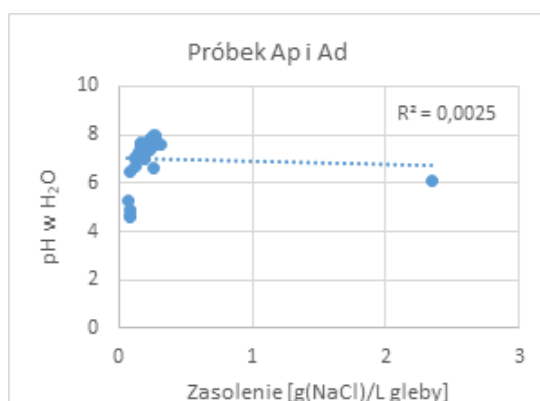
Podobnie interpretowano 18 poziomów darniowych Ad. Minimalną wartość odczynu wykazała próbka 1 i było to 4,7 jednostki $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, maksymalną próbka 19 i było to $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,0$, a uśredniona wartość wyniosła 7,2 jednostki $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$.

W dwóch badanych grupach, zarówno gleb ornych i gleb darniowych występowały gleby o odczynie kwaśnym, obojętnym i zasadowym. Dlatego można badać zależności odczynu i zasolenie gleb osobno dla gleb użytków rolnych, dla gleb darniowych i dla całego zbioru 27 próbek gleb, gdyż próbka nr 27 z obszaru pomiędzy tężniami wyraźnie odbiega od pozostałych pod względem zasolenia.

Próba uchwycenia zależności pomiędzy odczynem badanych gleb a zawartością w nich chlorku sodu udokumentowano na poniższych wykresach (rys. 6 i 7). W tym celu wprowadzono współczynnik determinacji R^2 jako wskaźnik, który umożliwi ocenę jakości dopasowania testowego modelu do uzyskanych danych. Współczynnik determinacji R^2 określa, jak duża część zmienności zmiennej zależnej (wyjaśnianej – na rys. 6 i 7 to odczyn gleb) jest wyjaśniana przez zmienność zmiennej niezależnej (wyjaśniającej – na rys. 6 i 7 to zasolenie gleb) w liniowym modelu regresji.

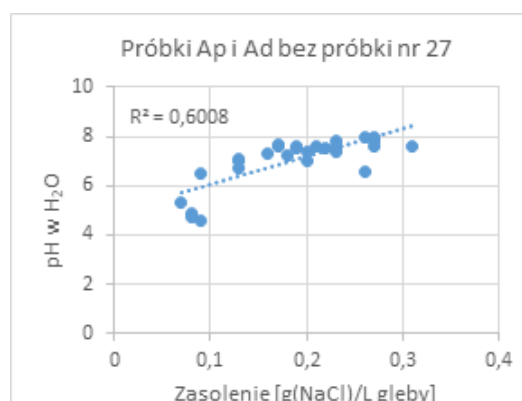
Próbka centralna nr 27 otoczona tężniami zaburza model (rys. 6), ale gdy zostanie wykluczona, to obszar badań wykazuje pewną zależność odczynu gleb od ich zasolenia (rys. 7). Dla próbek będących na zewnątrz tężni, współczynnik $R^2 = 0,60$, co w prosty sposób można zmienić na wartość procentową, a to oznacza, że model w 60% wyjaśnia zaobserwowane zależności.

Z próbek na zewnątrz tężni uzyskano 27 wyników. Podzielono ten zbiór i uzyskano zestawienie 12 gleb ornych z poziomami próchnicznymi Ap oraz 15 gleb trawników i łąk z poziomami próchnicznymi Ad. W zestawieniu nie uwzględniono próbki centralnej zlokalizowanej między tężniami. Wyniki przedstawiają wykresy (rys. 8 i 9).



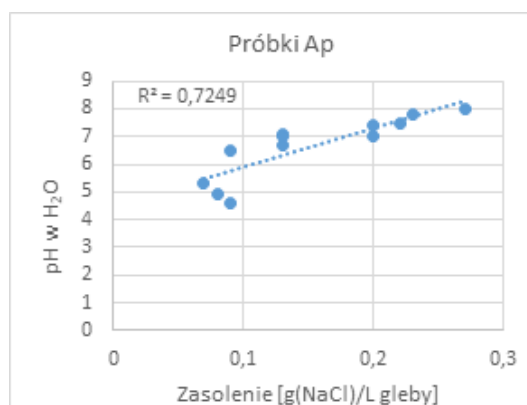
Rys. 6. Odczyn 28 badanych gleb względem zawartości w nich g NaCl w litrze gleby

Fig. 6. Reaction of 28 tested soils in relation to their content of g NaCl per liter of soil



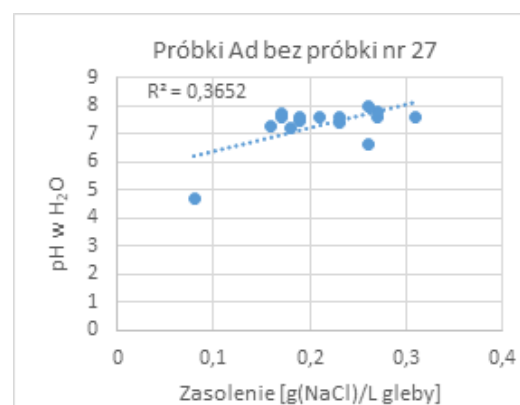
Rys. 7. Odczyn 27 badanych gleb względem zawartości w nich g NaCl w litrze gleby

Fig. 7. Reaction of 27 tested soils in relation to their content of g NaCl per liter of soil



Rys. 8. Odczyn 12 badanych gleb ornych względem zawartości g NaCl w 1 litrze tych gleb

Fig. 8. Reaction of 12 tested arable soils in relation to the content of g NaCl in 1 liter of these soils



Rys. 9. Odczyn 15 badanych gleb względem zawartości g NaCl w 1 litrze tych gleb

Ryc. 9. Reaction of 15 tested arable soils in relation to the content of g NaCl in 1 liter of these soils

Można stwierdzić, że na gruntach ornych w poziomach próchnicznych Ap występuje wyraźna zależność i dodatnia korelacja między zasoleniem a odczynem gleb. Na podstawie współczynnika determinacji można stwierdzić, że zależność sprawdza się w 72,5% (rys. 8). Prawdopodobnie jest to spowodowane opadem aero-

zoli bogatych w NaCl, ale może na to wpływać również wapnowanie tych gleb. Czy gleby orne były w przeszłości wapnowane? To, nie zostało określone. Pomiar zasolenia oparty jest na mierzeniu przewodnictwa elektrochemicznego, na które wpływają wszystkie jony znajdujące się w roztworze glebowym.

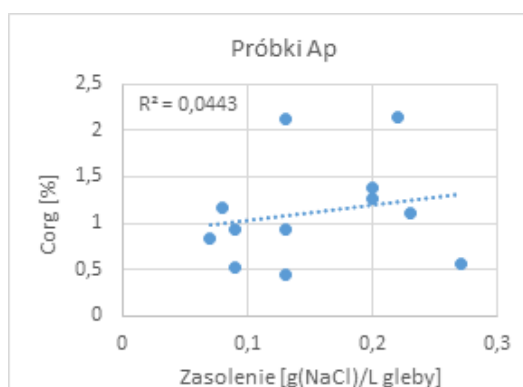
5.3. Zawartość węgla organicznego

W 28 badanych próbkach glebowych oznaczono zawartość węgla organicznego metodą Tiurina. Naważki próbek do mineralizacji były równe i wynosiły 0,200 ($\pm 0,005$) g gleby. Wszystkie próbki były poddane mineralizacji w takich samych warunkach, tzn. w temperaturze 140°C. Wyniki badań w tabeli 1 podano w procentach wagowych, czyli liczbowo to ilość g Corg w 100 g gleby.

Analizując uzyskane wyniki badań (tab. 1) można zauważyć, że najniższe ilości węgla organicznego oznaczono w próbkach z pól uprawnych. Wyliczono uśrednioną zawartość Corg w 12 próbkach, która wyniosła 1,12%. Podobne wartości stwierdzono w innych badaniach gleb

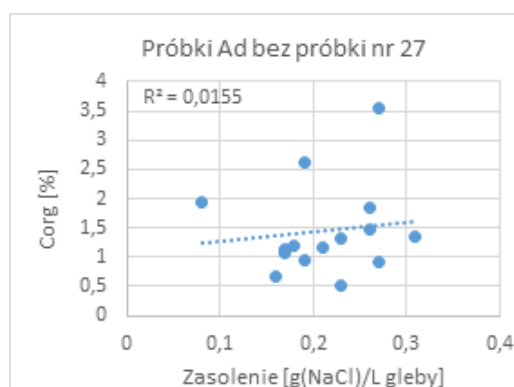
ornych (Tołoczko i in. 2009b). Wyższe zawartości stwierdzono na terenach zieleni miejskiej i użytkach zielonych, gdzie uśredniona zawartość dla 16 próbek wyniosła 1,50% Corg. To również wartości naturalne dla użytków zielonych (Laskowski i in. 2006).

Zbadano również korelację między zawartością chloru sodu i węgla organicznego w tych próbkach. Wyniki badań procentowej zawartości węgla organicznego Corg wykazały, że w glebach Ciechocinka nie ma zależności między zawartością w nich węgla organicznego i zasoleniem przeliczonym na zawartością chlorku sodu w litrze gleby. Świadczą o tym bardzo niskie współczynniki determinacji R^2 , gdzie dla poziomów próchnicznych Ap i Ad jego wartość była mniejsza od 0,05 (rys. 10 i 11).



Rys. 10. Zasolenie 12 badanych gleb orných względem zawartości Corg w poziomach próchnicznych tych gleb

Fig. 10. Salinity of 12 tested arable soils in relation to the Corg content in the humus horizons of these soils



Rys. 11. Zasolenie 15 badanych gleb darniowych względem zawartości Corg w poziomach próchnicznych tych gleb

Fig. 11. Salinity of 15 tested turf soils in relation to the Corg content in the humus horizons of these soils

5.4. Właściwości sorpcyjne gleb

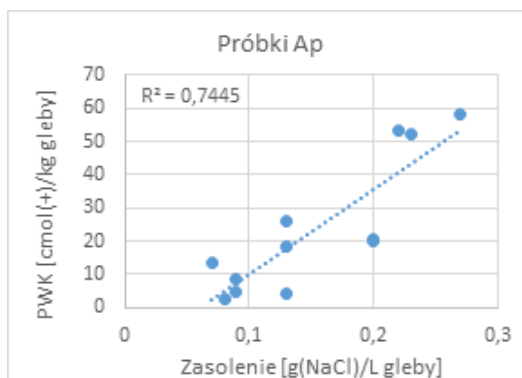
Przeanalizowano dwa podstawowe parametry opisujące właściwości sorpcyjne gleb. Oznaczono kwasowość hydrolityczną Hh dokonując ekstrakcji kationów wodoru H^+ i kationów glinu Al^{+3} za pomocą wodnego roztworu octanu wapnia $(CH_3COO)_2Ca$. Uzyskane wyniki umieszczono w tabeli 1. Nie były one zaskoczeniem, bo uzyskano dość niskie wartości, co jest konsekwencją wysokiego pH_{H_2O} . Uśredniona wartość Hh dla 28 próbek wyniosła 1,2 [cmol(+)/kg] przy wahaniach od 0,4 do 5,0 [cmol(+)/kg]. Mediana to 0,8 [cmol(+)/kg]. Co ciekawe, właśnie próbka 27 wykazała najwyższą kwasowość hydrolityczną Hh = 5,0 [cmol(+)/kg].

Sumę kationów zasadowych S ekstrahowano 0,1 M (molowym) wodnym roztworem kwasu solnego. Dokładnie 25 ml ekstraktu miareczkowano wobec fenoloftaleiny 0,1 M roztworem NaOH. Wartości jakie uzyskano były bardzo interesujące i wahały się od 0,7 do 57,8 [cmol(+)/kg] przy wysokiej medianie 22,5 [cmol(+)/kg] i jeszcze wyższej średniej dla 28 próbek, bo 26,8 [cmol(+)/kg]. To są warto-

ści przewyższające ilości kationów zasadowych mierzonych zazwyczaj w glebach pobranych z trawników miejskich (Tołoczko i in. 2009a) oraz użytków zielonych i pól uprawnych (Laskowski, Tołoczko 1995, 2001). Zatem, może być jakiś wpływ tężni na ilość kationów zasadowych w glebach Ciechocinka i okolic.

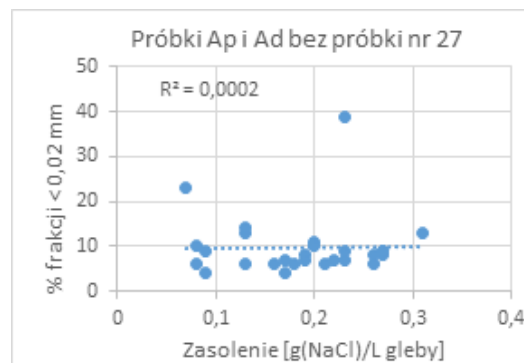
Sumując ładunki zmierzone poprzez kwasowość hydrolityczną Hh i sumę kationów zasadowych S uzyskano pojemność wymienną kationów PWK. Uśredniona wartość parametru PWK była na poziomie 28,0 [cmol(+)/kg], ale wahała się od 2,5 do 58,4 [cmol(+)/kg]. Analizowano wielkość PWK względem zasolenia badanych gleb. Zbadano wpływ zasolenia gleb na ich PWK, a wyniki ilustrują dwa wykresy (rys. 12 i 13).

Stopień wysycenia gleb kationami zasadowymi V wyrażono w procentach [%]. Zaznaczył się korzystny wpływ tężni wartości wysycenia gleb kationami zasadowymi. Uśredniona wartość wyniosła $V = 88,7\%$, przy medianie zbioru 28 wyników na poziomie $V = 96,7\%$ i przy wahaniach od 29,4 do 99,0% (tab. 2).



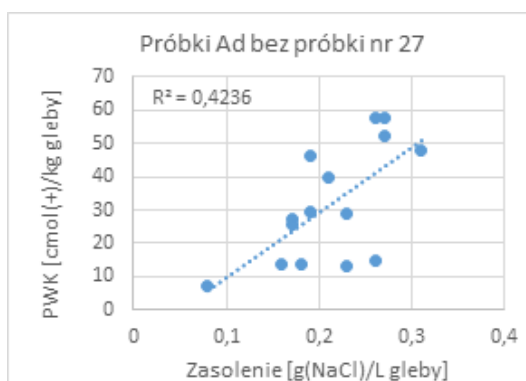
Rys. 12. Pojemność wymienna kationów (PWK) 12 badanych gleb ornyczych względem zasolenia tych gleb

Fig. 12. Cation exchange capacity (CEC) of 12 tested arable soils in relation to the salinity of these soils



Rys. 14. Procentowa zawartość frakcji $<0,02\text{ mm}</math> w 27 poziomach próchnicznych badanych gleb względem zawartości w nich g NaCl w litrze gleby$

Fig. 14. Percentage of fraction $<0,02\text{ mm}</math> in 27 humus horizons of the tested soils in relation to their content of g NaCl per liter of soil$



Rys. 13. Pojemność wymienna kationów PWK 15 badanych gleb darniowych względem zasolenia tych gleb

Fig. 13. Cation exchange capacity (CEC) of 15 tested turf soils in relation to the salinity of these soils

5.5. Uziarnienie gleb

Uziarnienie gleb przedstawiono w tabelach 2 i 3. Należy stwierdzić, że w poziomach próchnicznych Ap i Ad było ono zróżnicowane, co widać po ilości oznaczonych grup granulometrycznych. Nie szukano zależności poszczególnych frakcji uziarnienia z oznaczonymi wcześniej parametrami, ale zauważono, że próbka 27, która niewątpliwie wykazała zasolenie, była tzw. glebą lekką i oznaczono dla niej grupę granulometryczną – piasek słabogliniasty. Próba skorelowania zasolenia z procentową zawartością frakcji spławialnej $<0,02\text{ mm}</math> z zasoleniem gleb zakończyła się niepowodzeniem (rys. 14).$

Wynika z tego, że zasolenie można korelować jedynie z niektórymi chemicznymi parametrami gleb. Uziarnienie gleb nie wykazuje wpływu na wynik pomiaru zawartości chlorku sodu w tych glebach, a współczynnik determinacji R^2 wyniósł zero (rys. 14).

6. Dyskusja

Gleby okolic Ciechocinka nie wykazały zasolenia (rys. 5). Jedynie próbka nr 27 będąca w centrum terenu badań otoczona wysokimi tężniami wykazała znaczące zasolenie i było to $2,35\text{ [g(NaCl)·dm}^{-3}]$. Po uwzględnieniu gęstości objętościowej, która wyniosła $1,86\text{ g/cm}^3$ można stwierdzić, że chlorek sodu w tym poziomie próchnicznym stanowi $0,437\%$, czyli $0,437\text{ g (NaCl)/100 g gleby}$ lub $4,37\text{ g (NaCl)/kg gleby}$. Próbka reprezentuje cały obszar gleb wewnątrz tężni. Zasolone gleby znajdują się również do kilku metrów na zewnątrz tężni. Na podstawie wyników badań własnych możemy stwierdzić, że obszar gleb zasolonych w Ciechocinku ma powierzchnię 28 hektarów. Obszar ten można zaliczyć do gleb średnio zasolonych ($0,35\text{--}0,65\%$), 2 klasa zasolenia (Karczewska 2008) i według zaleceń FAO, za: Jacksonem (1956).

W pracy nad dziesięcioletnią historią rezerwatu słonorośli wykazano, że areał gleb zasolonych na terenie Ciechocinka to obszar $1,8\text{ ha}$ (Wilkoń-Michalska 1970). Były to inne badania określające zawartości anionów chlorokowych (Cl^-) w glebach, a uzyskane wtedy wyniki to od $0,14$ do $0,79\text{ [g(Cl}^-)/100\text{ g]}$ gleby, równoważne od $1,4$ do $7,9\text{ [g(Cl}^-)/\text{kg}]$ gleby. Wyniki te są zbliżone do prezentowanych w niniejszej pracy, gdyż w przeliczeniu na gram chlorku sodu byłoby to od $2,3$ do $13,0\text{ [g(NaCl)/kg]}</math> gleby. Uwzględniając gęstość właściwą gleby jako $1,8\text{ g/ml}$, to wyniki badań zasolenia gleb w ówczesnym „Rezerwacie halofitów Ciechocinek”, prowadzone w latach 1954–1965 przez J. Wilkoń-Michalską (1970), wahały się od $1,3$ do $7,2\text{ [g(NaCl)·dm}^{-3}]</math> gleby. Obszar ten leżący u zbiegu tężni II i tężni III, a ograniczony ul. Stanisława Staszica i Wałem Ciechocinek nie posiada już roślin słonolubnych i obecnie posiada nazwę „Rezerwat przyrody Ciechocinek”. To tylko świadczy, że zasolenie tych gleb w latach 50. i 60. XX w. było efektem niewłaściwej działalności człowieka, co doprowadziło do powstania gleb słonych i utworzenia rezerwatu halofitów. Zasolenie gleb rezerwatu ustąpiło po usprawnieniu gospodarki solanką w okolicach tężni II i III.$$

Tabela 2. Udział procentowy frakcji granulometrycznych badanych gleb

Table 2. Percentage of granulometric fractions of the tested soils

Nr próbki na mapie	Głębokość pobrania próbki glebowej	Symbole poziomów glebowych	Udział procentowy frakcji [%]			Grupa granulometryczna
			piasków 1,0–0,1 mm	pyłów 0,1–0,02 mm	iłów <0,02 mm	
1	3–10 cm	Ad	78	16	6	ps
2	3–10 cm	Ad	69	23	8	ps
3	1–10 cm	Ap	48	39	13	psp
4	2–10 cm	Ad	32	55	13	ptz
5	2–10 cm	Ap	27	59	14	ptz
6	1–10 cm	Ap	41	48	11	ptz
7	1–10 cm	Ap	46	31	23	glp
8	3–10 cm	Ad	78	16	6	ps
9	3–10 cm	Ad	85	8	7	ps
10	1–10 cm	Ad	84	12	4	pl
11	2–10 cm	Ad	53	39	8	psp
12	2–10 cm	Ad	76	17	7	ps
13	2–10 cm	Ad	60	31	9	psp
14	3–10 cm	Ad	86	8	6	ps
15	1–10 cm	Ap	77	16	7	ps
16	1–10 cm	Ap	91	5	4	pl
17	2–10 cm	Ad	82	12	6	ps
18	2–10 cm	Ad	82	11	7	ps
19	3–10 cm	Ad	76	18	6	ps
20	2–10 cm	Ad	65	27	8	psp
21	1–10 cm	Ap	48	42	10	ptz
22	1–10 cm	Ap	7	54	39	ptg
23	1–10 cm	Ap	69	22	9	ps
24	2–10 cm	Ap	71	20	9	ps
25	2–10 cm	Ad	58	33	9	psp
26	2–10 cm	Ap	61	29	10	psp
27	3–10 cm	Ad	74	18	8	ps
28	1–10 cm	Ap	83	11	6	ps

Objaśnienia: Ad – poziom darniowy na trawniku, Ap – poziom próchniczny na polu uprawnym, pl – piasek luźny, ps – piasek słabogliniasty, psp – piasek słabogliniasty pylasty, glp – glina lekka silnie spiaszczona pylasta, ptz – pył zwykły, ptg – pył gliniasty.

7. Wnioski

Tylko bezpośrednie sąsiedztwo tężni, a właściwie „uwięzienie gleb między ścianami tężni” ze wszystkich stron, spowodowało ich zasolenie. Określono je na podstawie badań zbiorczej próbki nr 27. W Ciechocinku zasolenie wykazują gleby o łącznej powierzchni 28 hektarów. To gleby leżące w Parku Tysiąclecia, Parku Tężniowym i Parku Zdrowia zlokalizowanych właśnie między tężniami oraz te w ich otulinie, tzn. leżące kilka metrów na zewnątrz tężni. Uśrednioną

zawartość soli w tych glebach określono na 0,437% NaCl w glebie, co według wytycznych FAO oznacza, że to gleby średnio zasolone, z 2 klasą zasolenia.

Analizując wszystkie punkty naniesione na mapę Polski (rys. 3), łatwo zauważyć, że miejsca potencjalnego występowania gleb zasolonych stanowią prawie tyle samo obiektów, co miejsca już zbadane. Fakt ten niewątpliwie wskazuje na konieczność podjęcia badań gleboznawczych na tych obszarach celem lepszego rozpoznania problemu zasolenia gleb na terenie całego kraju.

8. Literatura

- Affelt, W., 2007. Salina Ciechocińska – zabytek przemysłu rangi światowej. 175–182, [w:] T. Burzyński (red.), *Dziedzictwo kultury przemysłowej jako szansa rozwoju turystyki europejskiej*. Wydawnictwo Agencja Artystyczna PARA, Katowice, 265 s.
- Banaszak, J., 1996, (red.). *Środowisko przyrodnicze Bydgoszczy*. Wydawnictwo Tannan, Bydgoszcz.
- Brady, N.C., Weil, R.R., 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13th Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle Rivers, New Jersey, 960 s.
- Galon, R., 1934. Dolina dolnej Wisły, jej kształt i rozwój na tle budowy dolnego Powiśla. *Bad. Geogr. nad Polską Płn.-Zach.*, Poznań, 12–13.
- Galon, R., 1961. Morphology of the Noteć–Warta (or Toruń–Eberswalde) ice marginal streamway. *Prace Geograficzne, IGI PAN*, 29.
- Galon, R., 1968. New facts and problems pertaining to the origin of the Noteć Warta Pradolina and the valleys linked with it. *Przegląd Geograficzny* 40(2): 307–315.
- Gąsior, J., Kaniuczak, J., Hajduk, E., Właśniewski, S., Nazarkiewicz, M., Bilek, M., 2013. Metody badań fizycznych właściwości gleb. *Acta Carpathica* 6, Rzeszów, 54 s.
- Gilewska, S., 1986. Podział Polski na jednostki geomorfologiczne. *Przegląd Geograficzny* 58(1–2): 16–40.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., Bohnert, H.J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51: 463–499.
- [http://www.polskaniezwykla.pl/web/place/50903,ciechocinek-najwieksze-teznie-w-europie---zabytek-techniki-i-architektury-\(1824-1859\).html](http://www.polskaniezwykla.pl/web/place/50903,ciechocinek-najwieksze-teznie-w-europie---zabytek-techniki-i-architektury-(1824-1859).html)
- <https://vivatakademia.agh.edu.pl/numer-10>
- https://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/kulturalis_ertekek_a_vilagban/Visegrad_orszagok_teknikai_2/pages/lengyel/004_lengyel_mu-szaki_muemlekei.html
- Hulisz, P., 2007. Wybrane aspekty badań gleb zasolonych w Polsce. Wydawnictwo SOP, Toruń, 40 s.
- IUNG 2017. Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015–2017”. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, pdf, 190 s. http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/
- Jackson, M.L., 1956. *Soil chemistry analysis*. Advanced courses. Published by the author. Dept. Of Soil Science, Visconsin, Madison.
- Kabała, C., Karczewska, A., 2019. *Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin*, Wydanie 8a. Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, UP we Wrocławiu, 48 s.
- Karczewska, A., 2008. *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław, 414 s.
- Karnkowski, P., 2008. Regionalizacja tektoniczna Polski: Niż Polski, Wydanie 3. *Przegląd Geologiczny* 56: 895–903.
- Kopcewicz, J., Lewak, S., 2012. *Fizjologia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 812 s.
- Korzeniewski, B., 1996. *Tężnie w Ciechocinku*. Wydawnictwo TUPRESS, Toruń, 24 s.
- Krawiec, A., 1999. Nowe wyniki badań izotopowych i chemicznych wód leczniczych Ciechocinka. *Przegląd Geologiczny* 47(3): 255–260.
- Laskowski, S., Tołoczko, W., 1995. Ocena stanu środowiska glebowego w otoczeniu aglomeracji miejsko-przemysłowej Zgierza. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 418(1): 313–322.
- Laskowski, S., Tołoczko, W., 2001. Alterations of some chemical and physico-chemical properties of selected soils in field ecosystems. *Acta Agrophysica* 50: 177–188.
- Laskowski, S., Trawczyńska, A., Tołoczko, W., 2006. Influence of irrigation on some chemical properties of very lightfan soils of the Ner Valley. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 13(1–2): 79–84.
- Łyczewska, J., 1975. *Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50000, arkusz Ciechocinek*, Warszawa.
- Maciak, F., 1999. *Ochrona i rekultywacja środowiska*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Markiewicz, M., Dadlez, R., 2008. Geologiczna regionalizacja Polski – zasady ogólne i schemat podziału w planie podkenozoicznym i podpermskim. *Przegląd Geologiczny* 56(5): 391–397.
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239–250.
- Niewiadomski, A., Tołoczko, W., Trawczyńska, A., 2009. Próchniczność oraz jej związki z buforowością i składem granulometrycznym gleb odłogowanych i użytkowanych rolniczo. *Roczniki Gleboznawcze* 60(1): 85–91.
- Seelig, B.D., 2000. *Salinity and sodicity in North Dakota soils*. EB 57. North Dakota State University Extension Service. Fargo, North Dakota.
- Solon, J., Borzyszkowski, J., Bidłasik, M., Richling, A., Badora, K., Balon, J., Brzezińska-Wójcik, T., Chabudziński, Ł., Dobrowolski, R., Grzegorzczak, I., Jodłowski, M., Kistowski, M., Kot, R., Krąż, P., Lechnio, J., Macias, A., Majchrowska, A., Malinowska, E., Migoń, P., Myga-Piątek, U., Nita, J., Papińska, E., Rodzik, J., Strzyż, M., Terpiłowski, S., Ziąja, W., 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91(2): 143–170 (Supplementary file).
- Śliwa, K.A., Stolarski, A., 2014. *Ciechocinek i okolice*. Wydawnictwo Świętokrzyskie Elipsa, 83 s.
- Tołoczko, W., 2020. *Gleby orne makro- i mezoregionów fizycznogeograficznych Polski*. Wydawnictwo UŁ, 178 s.
- Tołoczko, W., Niewiadomski, A., Trawczyńska, A., 2009a. Influence of salinity on the sorptive features in soils of Lodz city centre. *Ecological Chemistry and Engineering A*(16): 465–474.
- Tołoczko, W., Trawczyńska, A., Niewiadomski, A., 2009b. Content of organic compounds in soils fertilized with EM preparation. *Soil Science Annual* 60(1): 97–101.
- Trawczyńska, A., Tołoczko, W., 2005. Content of heavy metals in ground water of the soil of Bzura river valley. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 12(1–2): 121–126.
- Trawczyńska, A., Tołoczko, W., 2006. Content and profile arrangement of total and sulphate sulphur in soils of greenlands of the Bzura river valley. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 13(1–2): 139–145.
- Trawczyńska, A., Tołoczko, W., Niewiadomski, A., 2009. Zawartość pierwiastków śladowych w wodach górnej Bzury. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 40: 491–496.
- Weckwerth, P., 2007. Późnowistuliański rozwój sieci rzecznej w rejonie Kotliny Toruńskiej na tle struktur starszego podłoża. *Słupskie Prace Geograficzne* 4: 143–156.
- Wilczek, A., Skierucha, W., Janik, G., Cieśla, J., Pichlera, V., 2012. Zasolenie gleby wyznaczone sensorami FDR, działającymi w zmiennej częstotliwości. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie (IV–VI)*: 12, 2(38): 341–349.
- Wilkoń-Michalska, J., 1970. Zmiany sukcesyjne w rezerwacie halofitów w Ciechocinku w latach 1954–65. *Ochrona Przyrody* 35: 25–51.