

Raport z analizy parametrów fizyko-chemicznych wód w ramach realizacji projektu LIFE11 NAT/PL/422

„Ochrona siedlisk mokradłowych doliny Górnej Biebrzy”



Piotr Banaszuk
Białystok, luty 2019 r.

1. Wprowadzenie, metody oznaczeń właściwości fizyko-chemicznych

Raport został przygotowany na podstawie umowy nr 43/2018 w celu zestawienia informacji o parametrach fizyko-chemicznych wód powierzchniowych i podziemnych pozyskanych w ramach realizacji projektu „Ochrona siedlisk mokradłowych doliny Górnej Biebrzy”. W ramach projektu wyznaczono osiem punktów monitoringu wód powierzchniowych i trzydzieści dwa punkty pomiarów jakości wód podziemnych (Rys. 1).

Zakres badań parametrów fizyko-chemicznych obejmował następujące parametry:

- temperatura,
- pH,
- tlen rozpuszczony,
- potencjał redox,
- przewodność elektryczna właściwa,
- stężenie jonów wapnia.

Pomiary wykonywano raz w miesiącu od maja do października 2018 r. za pomocą miernika wieloparametrowego WTW Multi 3510 SET 4 (tlen rozpuszczony i temperatura) oraz WTW Multi 350i (EC, pH, Eh; Tab. 1).

Tabela 1 Urządzenia pomiarowe stosowane w badaniach jakości wód w 2018 r.

Parametry	Urządzenie pomiarowe
Temperatura, tlen rozpuszczony	Optyczna sonda tlenowa FDO 925
pH	Elektroda pH SenTix 41, WTW
Przewodność elektrolityczna właściwa	Czujnik konduktometryczny TetraCon 325, WTW
Potencjał redox (Eh)	Elektroda Redox SenTix ORP, WTW
Stężenie wapnia Ca ²⁺	Elektroda wapniowa Ca 800, WTW

Uwagi do jakości danych

Przedstawione do opracowania dane pomiarowe są miejscami niepewne. Zastanawiający, i wydaje się, że możliwy do objaśnienia jedynie błędem urządzenia pomiarowego, jest nagły i odbiegający od pozostałych miesięcy wzrost wartości EC i Ca we wszystkich próbkach w czerwcu 2018 r. - kiedy wartości przewodnictwa sięgały nawet $6000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Analiza zależności EC i Ca wskazuje na wyraźną odmienną próbek czerwcowych od wszystkich pozostałych (Rys. 2), toteż wyłączono je z analizy. Bardzo duże wartości przewodnictwa właściwego i stężenia wapnia obserwowane w utworach torfowych w Ostrowie, Jałowie i Lipsku sugerują, że te fragmenty torfowiska są poddane bardzo dużej antropopresji. Przyczyną wyjątkowo dużego stężenia Ca w torfowisku, w niektórych przypadkach odnotowano wartości przekraczające nawet $400 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, może być zrzut ścieków, wapnowanie użytków zielonych oraz, w specyficznych warunkach hydrologicznych, zanieczyszczenie roztworu na skutek ewapotranspiracji. Niestety rozstrzygnięcie tej kwestii wymaga dodatkowych informacji, których zdobycie przekraczało ramy tego opracowania.

2. Teren badań

Kotlina Górnej Biebrzy jest rozległym obniżeniem terenowym rozciągającym się od granic Państwa do okolic Rudkowszczyzny-Czarniewa, gdzie przechodzi w Kotlinę Biebrzy Środkowej. Od północy Kotlina sąsiaduje z sandrem suwalsko-augustowskim, a od południa z wysoczyznami morenowymi Wzgórz Sokólskich. Krajobraz kotliny kształtują dwie zasadnicze makroformy, którymi są dolina Biebrzy oraz wyniesienia morenowe Lipska, Jastrzębnej i Sztabina. Dolina Biebrzy jest zabagniona, powierzchnia mokradeł wynosi około 10,7 tys. ha, a ponad równinę torfową wznoszą się wyniesienia mineralne Rogożyna, Rogożynka, Jałowa, Szuszałewa i poziomy piaszczyste na obrzeżach doliny.

Mokradła w Kotlinie Górnej Biebrzy wykształciły się w głęboko wciętej rynnie odpływu wód polodowcowych zajętej obecnie przez rzekę Biebrzę i w dolinach jej dopływów. Powierzchnia równiny torfowiskowej obniża się do 120 – 122 m n.p.m. na wschód od Lipska do około 116 m w

okolice Sztabina i około 114 m w okolicy Rudkowszczyzny, gdzie przechodzi w równinę torfowiskową w basenie Biebrzy Środkowej (Banaszuk H. 2004a, 2004b).

Mięszość złoza torfowego i jego budowa są różne w różnych częściach doliny. Od granicy Państwa do rozszerzenia doliny w okolicy Czarniewa, zwarty kompleks torfowy zajmuje powierzchnię 10 681 ha (Banaszuk H. 1984), a jego charakterystyczną cechą jest duży udział torfów głębokich. Najbardziej miększe torfy (od 4 do 6 m) odłożyły się w rynnach wyerodowanych przez wody proglacjalne: w dolinie Nurki, Niedźwiedzicy, na północ od wyspy Rogożyńskiej, na wschód od wysp Jałowa i Szuszałewa i na południe od Nowego Lipska.

W Basenie Górnej Biebrzy mokradła są zasilane wodą w dwojaki sposób: soligenicznie, przez dopływ podziemny z wysoczyzny morenowej oraz, poniżej ujścia rzeki Kamiennej, fluwiogenicznie, na skutek zalewu przez Biebrzę płynącą z bardzo małym spadkiem i latem silnie zarastającą roślinnością podpiętrzającą wodę w korycie. Obfite i stałe uwodnienie obniżenia dolinnego spowodowało, że duży udział mają tu gleby torfowe hemowe OTe i fibrowe OTi. Niestety, powierzchnia gleb z czynnym procesem bagiennym maleje i obecnie gleby torfowe stanowią zaledwie nieco ponad 40 % gleb organicznych.

W granicach Biebrzańskiego Parku Narodowego torfowisk zmeliorowanych jest niewiele. Jednak poza Parkiem w zatokach i na obrzeżach doliny Biebrzy, i w dolinach jej dopływów większość torfowisk została osuszona i zamieniona w użytki zielone. Torfowiska zmeliorowane występują w okolicach Kropiwej, Jastrzębnej oraz pomiędzy Jasionowem a Krasnoborkami. Prace odwodnieniowe wykonano także w dolinach Sidry, Nurki i Niedźwiedzicy.

Mineralizująca się masa organiczna może być źródłem związków azotu i fosforu uwalnianych do wód gruntowych i powierzchniowych. Przyczynami zanieczyszczenia składnikami biogenicznymi są także nawożenie użytków zielonych (głównie nawozami naturalnymi) i w niewielkim stopniu opad atmosferyczny; z opadami dostaje się jest około 10-12 kg N·ha⁻¹ i zaledwie 0,2 kg P·ha⁻¹ (Monitoring..., 2018). Wnoszenie biogenów do mokradeł i uwalnianie ich ze źródeł wewnętrznych jest jednak niewielkie i w większości nie prowadzi do widocznych negatywnych zmian w ekosystemach.

Stężenie składników biogenicznych w wodzie Biebrzy i jej dopływów jest małe i z reguły nie przekracza wartości progowych dla wód w dobrym stanie chemicznym. W niektórych przypadkach jakość wód jest zmieniona przez zrzuty ścieków. Górna Biebrza jest odbiornikiem

ścieków komunalnych z 4 oczyszczalni. Trzy z nich zrzucają ścieki do dopływów Biebrzy: Różanystok do Sidry, Dąbrowa Białostocka do Kropiwej i Sztabin do bezimiennego rowu melioracyjnego. Odbiornikiem ścieków z oczyszczalni w Lipsku jest bezpośrednio Biebrza. Oczyszczalnia w Zespole Szkół w Krasnymborze odprowadza nieczystości do gruntu, skąd pośrednio, z wodami podziemnymi, przemieszczają się do Biebrzy.

3. Jakość wód powierzchniowych i gruntowych w 2018 r.

Średnie przewodnictwo badanych wód wynosiło $685 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Najmniejszą wartością EC i stężeniem jonów wapniowych odznaczały się wody rzeczne (Rys. 3, 4). Średnie EC wód powierzchniowych wynosiło $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, natomiast przeciętna przewodność elektrolityczna płytkich wód gruntowych osiągała $685 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w wodzie pobieranej z poziomu utworów organicznych i $678 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w wodzie z podłoża mineralnego. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między wodą Biebrzy i jej dopływów. Znacznie większą zmiennością przestrzenną cechowało się EC wód gruntowych.

Średnie stężenie wapnia w wodzie powierzchniowej wynosiło $85 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i było istotnie statystycznie mniejsze niż w wodzie gruntowej pobieranej z warstwy organicznej ($134 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) i mineralnych utworów podścielających ($115 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$; Rys. 3). Wody powierzchniowe były wyraźnie cieplejsze, średnio $16,7^\circ\text{C}$ wobec $13,1^\circ\text{C}$ w wodzie torfowiska i $12,7^\circ\text{C}$ w wodzie utworów podścielających, bardziej natlenione - odpowiednio 6,7 i $\sim 2,6 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i mniej kwaśne - pH 7,6 wobec $\sim\text{pH } 7$ w wodzie podłoża mineralnego i w torfowisku (Rys. 3 i 4).

Wyniki analizy skupień (algorytm Warda) wskazują, że badane wody można podzielić na cztery grupy (Tab. 2). Grupę pierwszą tworzą wody powierzchniowe, które odznaczają się najlepszym natlenieniem, największą wartością potencjału redox i lekko alkalicznym odczynem. Grupa druga to wody gruntowe, zarówno z warstwy torfu, jak i podłoża mineralnego, które odznaczają się małą zawartością tlenu, ujemnym potencjałem redox i małą zawartością wapnia, która nie przekracza $70 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Reprezentantami tej grupy są próbki z Krasnoborków, Lipska W, Rogożyna, Szuszałewa. Chłodniejsze wody gruntowe o odczynie zbliżonym do obojętnego, lepiej natlenione i bardziej zasobne w wapń stwierdzono w Jacznikach, Trzyrzeczkach, Nowym Lipsku, Jałowie, Ostrowi i Małowieście (grupa 3). Do grupy czwartej, najmniej licznej, zaliczono nadzwyczaj zasobne w wapń i ubogie w tlen wody z punktów Kurianka i Lipsk E.

Tabela 2 Centroidy właściwości fizyczno-chemicznych wód w Kolinie Górnej Biebrzy

Grupa	Temperatura [°C]	Potencjał redox [mV]	pH	Tlen [mg dm ⁻³]	Ca ²⁺ [mg dm ⁻³]
1	22,1	137,9	7,5	4,2	80,7
2	16,6	-34,6	6,8	2,2	66,0
3	14,6	109,0	7,0	3,6	111,8
4	16,6	20,5	6,7	1,5	355,2

Jakość wód powierzchniowych w sezonie letnim 2018 r. zmieniała się w dużym zakresie. Cieki odznaczały się najwyższą temperaturą w lipcu. W tym czasie stwierdzono także najmniejsze pH i stężenie tlenu rozpuszczonego. Najmniejsze ($p < 0,05$) średnie wartości pH - 7,5 stwierdzono w Biebrzy w przekrojach Ponarlica oraz w Kamiennej, a największe pH ($p < 0,05$) - w Sidrze oraz w Biebrzy w przekroju Kamienna Nowa i Jałowo, gdzie średnio wynosiło ono około 7,75. Okresowo najgorsze warunki tlenowe stwierdzono w Biebrzy w punktach Sztabin, Kamienna Nowa i Jałowo, gdzie ilość rozpuszczonego O₂ spadała w lipcu poniżej 4 mg·dm⁻³. Lepszym natlenieniem cechowała się Biebrza powyżej Jałowa i jej dopływy. W okresie obserwacji warunki tlenowe cieków nie różniły się w sposób istotny statystycznie (Rys. 5).

Największe wartości przewodnictwa wód powierzchniowych i stężenie Ca były obserwowane we wrześniu, natomiast wartości najmniejsze w sierpniu. Najmniejsze ($p < 0,05$) średnie EC stwierdzono w Biebrzy w przekroju Ponarlica i Koniuszki oraz w Jastrzębianie, natomiast największym przewodnictwem odznaczała się rzeka Kamienna. W pozostałych przekrojach EC nie różniło się w sposób istotny statystycznie. Stężenie wapnia w wodach powierzchniowych zmieniało się od 50 do 130 mg·dm⁻³. Największe średnie stężenie wapnia cechowało dopływy Biebrzy: Kamienną, Sidrę i Jastrzębiankę, w których zawartość Ca kształtowała się na poziomie 87-94 mg·dm⁻³ (Rys. 5).

Jakość obu rodzajów wody gruntowej pobieranych w jednym punkcie pomiarowym zazwyczaj nie różniła się w sposób istotny statystycznie. Nie odnotowano też czytelnych i dających się zinterpretować prawidłowości przestrzennych w składzie chemicznym wód. Spośród analizowanych próbek wyróżniają się te pobrane pod użytkami zielonymi w punktach Kurianka, Lipsk E i Ostrowie, które miały wyjątkowo duże przewodnictwo EC i stężenie wapnia. W wodzie torfowej przeciętne EC wynosiło odpowiednio 2600 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 1580 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i 1467 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,

natomiast stężenie Ca odpowiednio $443 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, $312 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $256 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wody z utworów podścielających w Kuriance cechowały się przewodnością $1792 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ i stężeniem Ca wynoszącym $287 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$; w Lipsku E było to $1354 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ i $261 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, podczas gdy w Ostrowie - $766 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ i $128 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Dużymi wartościami tych parametrów odznaczały się też wody w Małowieście. Bardzo małą mineralizacją z kolei wody z utworów mineralnych pod zbiorowiskiem borowym w punkcie Lipsk W, w którym średnie EC wynosiło $106 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ a stężenie wapnia zaledwie $10,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Przewodność wody w sąsiadującym torfowisku wynosiła $361 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, a stężenie wapnia - $70 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W pozostałych punktach pomiarowych stężenie Ca mieściło się zazwyczaj w przedziale $80\text{-}120 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Rys. 7 i 8). Wartości te były zbliżone do danych publikowanych w literaturze. El Kahloun i in. (2005) stwierdzili w wodzie gruntowej w okolicy Szuszałewa stężenie wapnia w zakresie $66,2 \pm 0,3 - 100,1 \pm 29,4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wartość EC zawierała się w przedziale $453,7 \pm 8,4 - 789,7 \pm 24,8 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Podobne stężenie Ca stwierdzono w wodach gruntowych pod użytkami zielonymi w Kotlinie Biebrzy Środkowej (Sapek A. i in. 2011), natomiast nieco większe stężenie Ca w wodzie podtorfowej $\sim 150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ opisuje Wassen i in. (1992); ci sami autorzy wskazują, że w płytkiej wodzie gruntowo-glebowej z głębokości 5-15 cm stężenie wapnia może zawierać się w przedziale $20\text{-}60 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, co jest wynikiem rozcieńczania przez wody opadowe.

W dużym zakresie wahał się odczyn wód. W podłożu mineralnym różnice sięgały niemal 2 jednostek pH. Najmniejsze pH stwierdzono na obrzeżu doliny w punkcie Lipsk W (5,8-6,2). Od wartości przeciętnych odstawały też Szuszałewo i Trzyrzeczki. Największe pH, średnio powyżej 7,2, odnotowano w Krasnoborkach, Jacznikach i Jastrzębnej. W wodzie torfowiska najmniejsze pH - średnio 6,2 - stwierdzono w Trzyrzeczkach, a największe ($\sim 7,4$) w Krasnoborkach i Jacznikach.

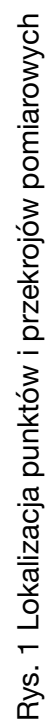
Sezonowa zmienność jakości obu rodzajów wód gruntowych była znacznie mniejsza niż wód powierzchniowych. Czytelną dynamikę wykazywała jedynie temperatura, której największe wartości odnotowano w lipcu. Pozostałe parametry miały wyrównany przebieg, z nieznacznymi fluktuacjami w przypadku stężenia Ca (maksimum we wrześniu) oraz tlenu rozpuszczonego i potencjału redox (Rys. 8 i 10).

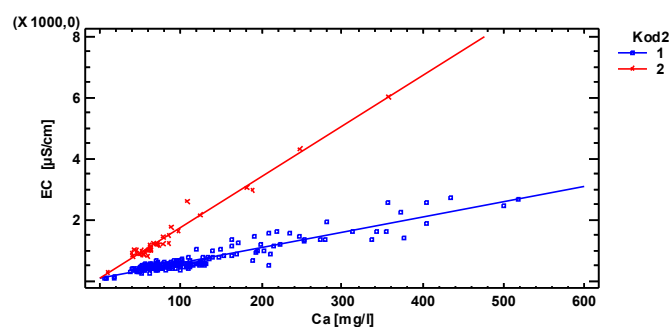
Podsumowanie i wnioski

- Projekt „Ochrona siedlisk mokradłowych doliny Górnej Biebrzy” ma na celu zachowanie zagrożonych siedlisk mokradłowych objętych siecią Natura 2000, w szczególności borów i lasów bagiennych, torfowisk zasadowych i torfowisk przejściowych, które są miejscem występowania takich rzadkich gatunków fauny jak m.in.: orlik krzykliwy, wodniczka, derkacz, czy flory jak m.in. lipiennik Loesela oraz skalnica torfowiskowa. Badania hydrochemiczne prowadzone w ramach projektu miały na celu m.in. sprawdzenie, czy ilość i jakość wód gruntowych i powierzchniowych zapewnia utrzymanie właściwego stanu ochrony siedlisk i przetrwanie związanych z nimi gatunków, jednak zakres prac monitoringowych nie umożliwia jednoznacznej odpowiedzi na to pytanie.
- W większości przypadków jakość wód podziemnych w dolinie (pH, zawartość Ca) była typowa dla alkalicznych torfowisk przepływowych opisywanych w literaturze (m.in. Succow i Joosten, 2000). Jakościowo, na niekorzyść odbiegały od nich zanieczyszczone wody gruntowe pod użytkami zielonymi położonymi w pobliżu zwartej zabudowy wsi. Niestety, zakres obserwacji, ograniczony do kilku parametrów fizyczno-chemicznych nie był wystarczający do oceny jakości siedlisk i natężenia antropopresji. Warunkiem zachowania różnorodności biologicznej mokradeł tego typu jest także utrzymanie stanu mezotrofii, co można w uproszczeniu opisać jako ubóstwo w substancje odżywcze (w tym przypadku głównie fosfor). Stężenie biogenów nie było jednak monitorowane w ramach projektu, podobnie jak zawartość innych pierwiastków ważnych z punktu widzenia kształtowania się warunków troficznych mokradeł;
- Wydaje się, że w przyszłości zamiast badać skład chemiczny wody w pojedynczych studzienkach rozproszonych w całej Kotlinie Biebrzy Górnej poza BPN, będzie korzystniej prowadzić obserwacje wzdłuż linii przekrojów poprzecznych przez obniżenie dolinne Biebrzy, podobnie jak to robili w poprzednich latach Wassen i in. (1992). Przekroje należy poprowadzić w dwóch-trzech charakterystycznych fragmentach doliny: reperowym, z dobrze zachowanym układem hydrochemicznym warunkującym utrzymanie torfowiska przepływowego (z elementem fluwiogenicznym) i związanego z nim kompleksu biotycznego oraz we fragmencie zdominowanym przez w użytki zielone. Porównanie obu układów dałoby możliwość ustalenia warunków brzegowych funkcjonowania obu systemów. Przekroje

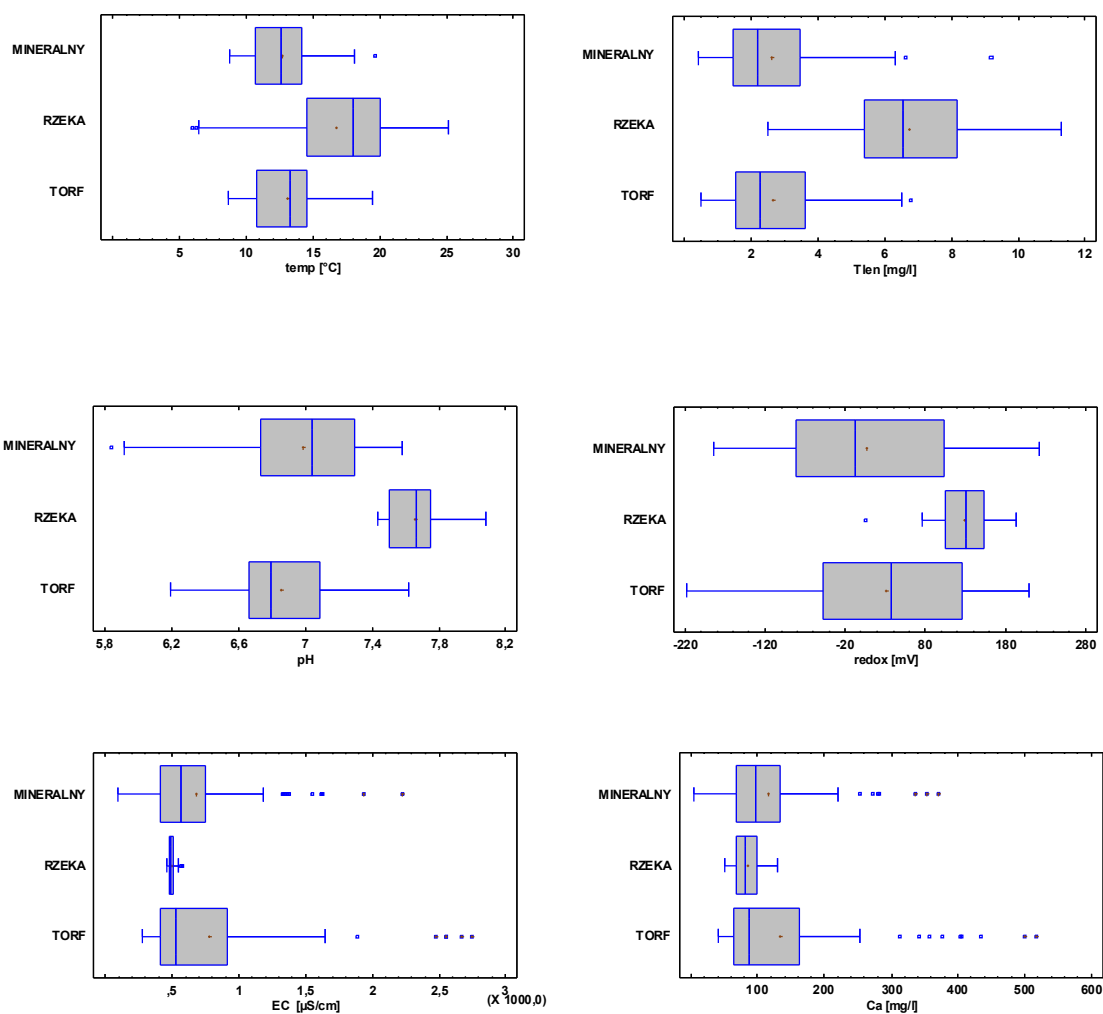
powinny nawiązywać do wcześniej prowadzonych obserwacji, ponieważ w naukach przyrodniczych tylko pomiary długoterminowe mają właściwą wartość poznawczą;

- Pomiary jakości wody pobieranej z głębokości kilkudziesięciu centymetrów nie muszą odzwierciedlać stanu troficznego mokradła soligenicznego, ponieważ często jest ona poza zasięgiem korzeni roślin. Dla pełnego obrazu stanu troficznego siedliska należało zatem, oprócz wody gruntowej, badać także roztwór glebowy z głębokości 0-15 cm będący wypadkową składu chemicznego wody gruntowo-glebowej (często kapilarnej) i opadu atmosferycznego.



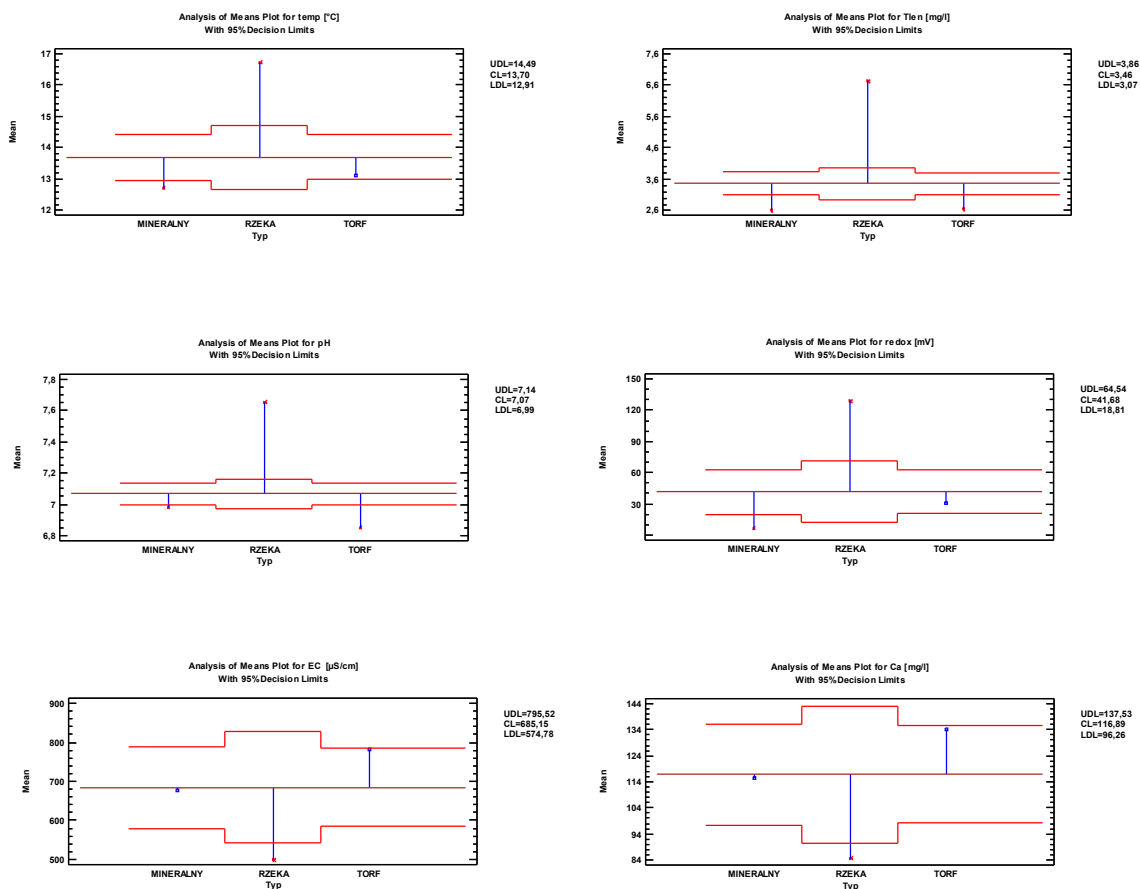


Rys. 2 Zależność między stężeniem wapnia i przewodnictwem elektrolitycznym badanych wód. Kod 1 - dane z okresu maj-październik 2018 r. z wyjątkiem czerwca, Kod 2 - dane z czerwca



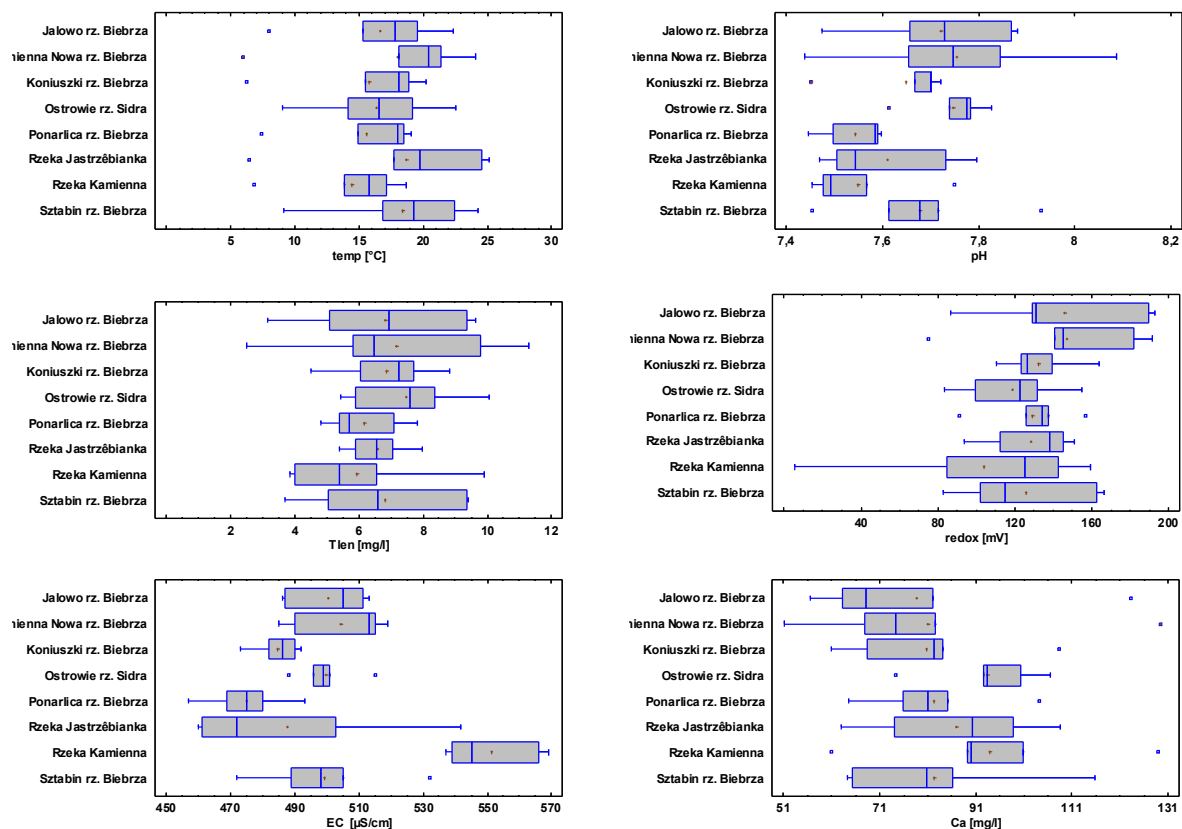
Rys. 3 Zróżnicowanie właściwości badanych wód. Rzeźka - wody powierzchniowe, mineralny - wody gruntowe z podłoża mineralnego, torf - wody gruntowe z poziomu utworów organicznych

Preservation of wetland habitats in the upper Biebrza Valley Ochrona siedlisk mokradłowych doliny Górnej Biebrzy

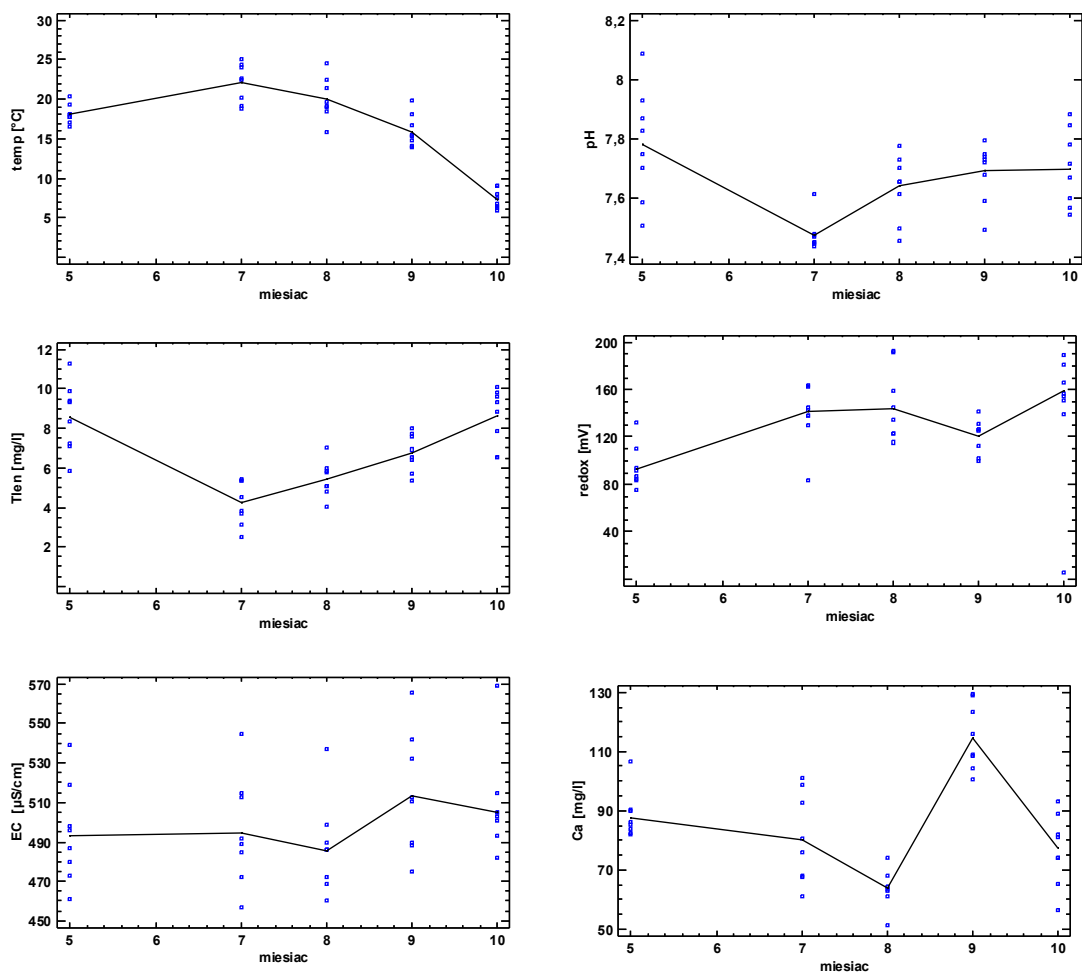


Rys. 4 Wyniki analizy różnic średnich ANOM dla badanych typów wód z 95% poziomem kryterium decyzyjnego; UDL - wartość górna kryterium, CL - wartość średnia, LDL - wartość dolna kryterium. Wartości wykraczające poza zakres UDL i LDL, na wykresie oznaczone czerwoną gwiazdką, różnią się w sposób istotny statystycznie od średniej z całej próby. Objaśnienia typów wód jak na Rys. 3.

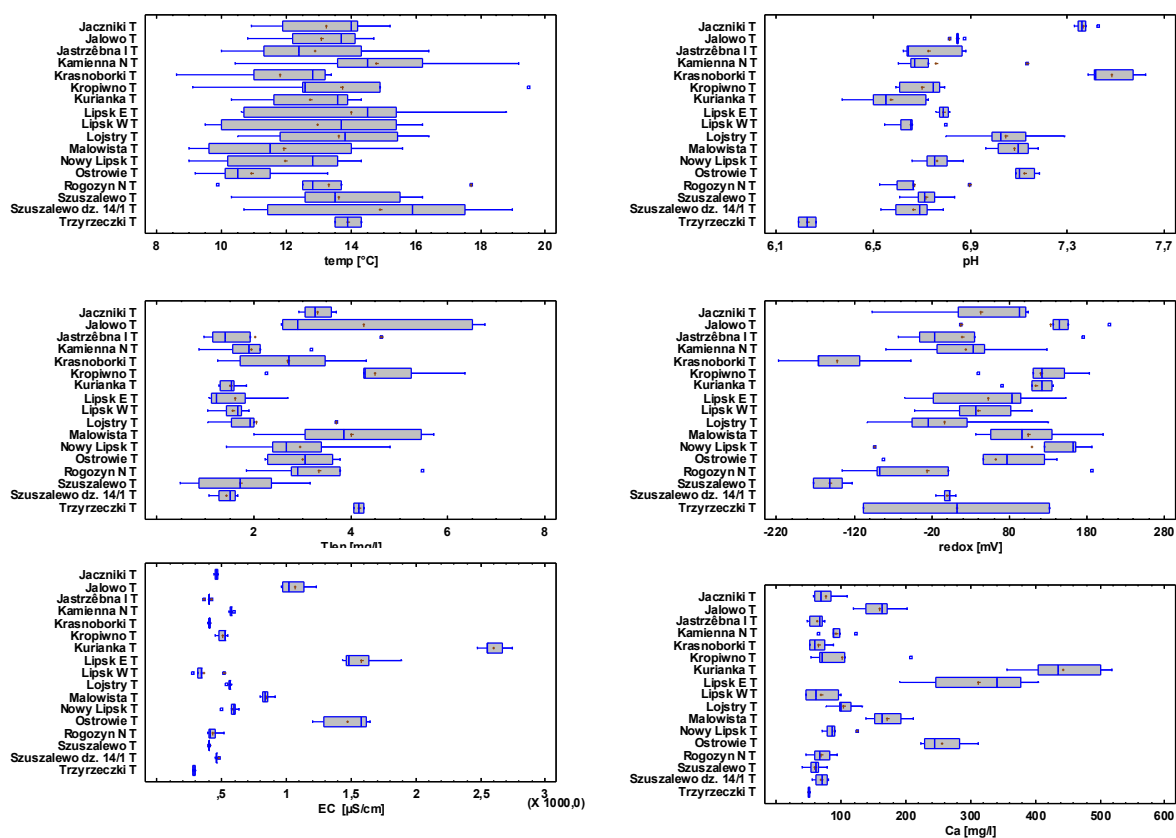
Preservation of wetland habitats in the upper Biebrza Valley Ochrona siedlisk mokradłowych doliny Górnej Biebrzy



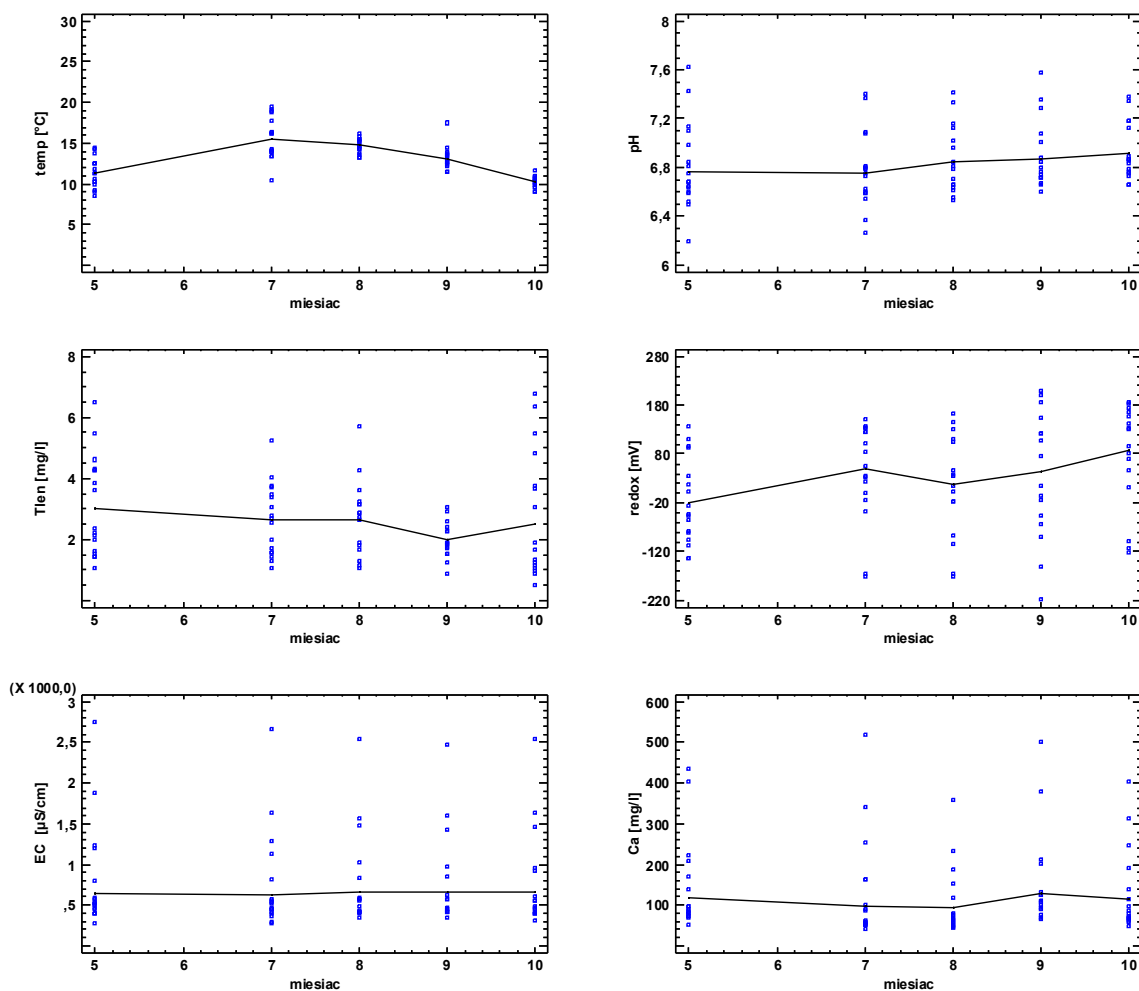
Rys. 5 Przestrzenne zróżnicowanie jakości wód powierzchniowych



Rys. 6 Sezonowe zmiany jakości wód powierzchniowych (grupa "Rzeka").
Wartości reprezentujące poszczególne przekroje pomiarowe zostały wygładzone
odporną regresją lokalnie ważoną Robust Lowess. Na wykresie pominięto dane z
czerwca 2018 r.

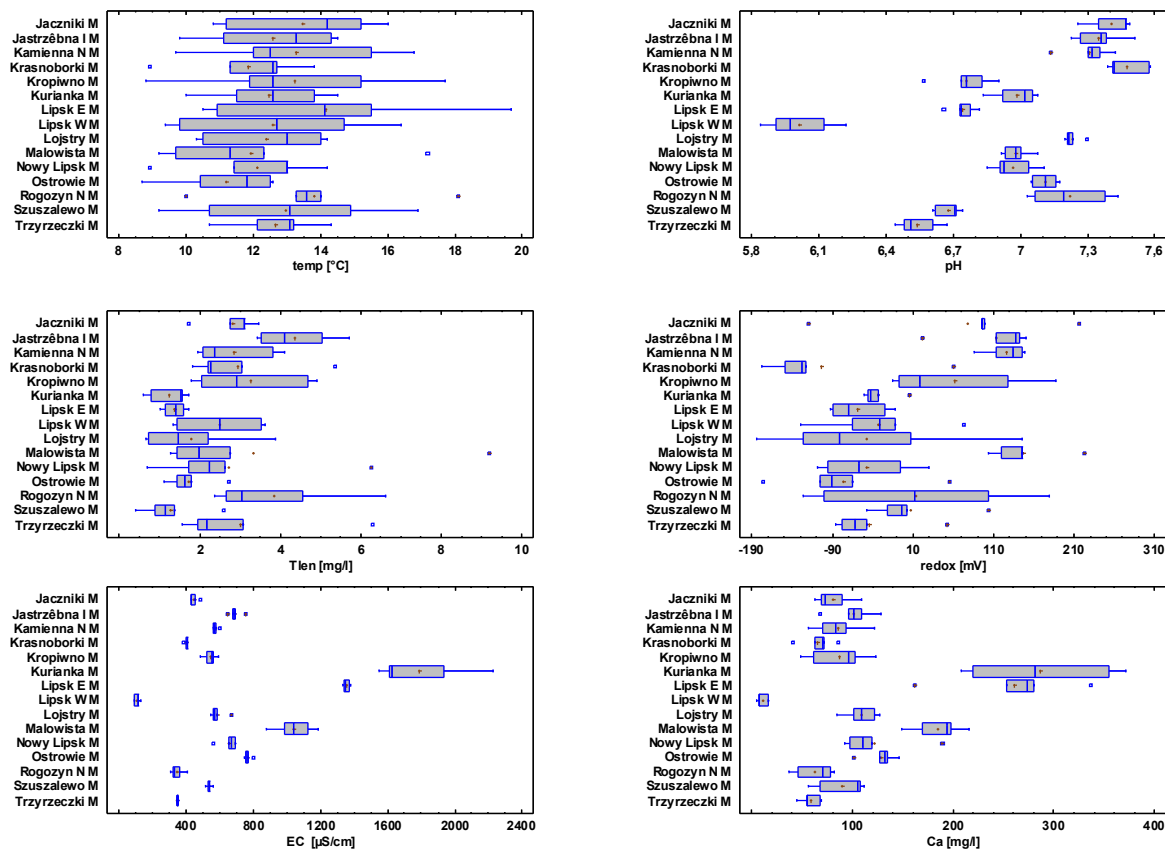


Rys. 7 Przestrzenne zróżnicowanie jakości wód gruntowych z poziomu utworów organicznych

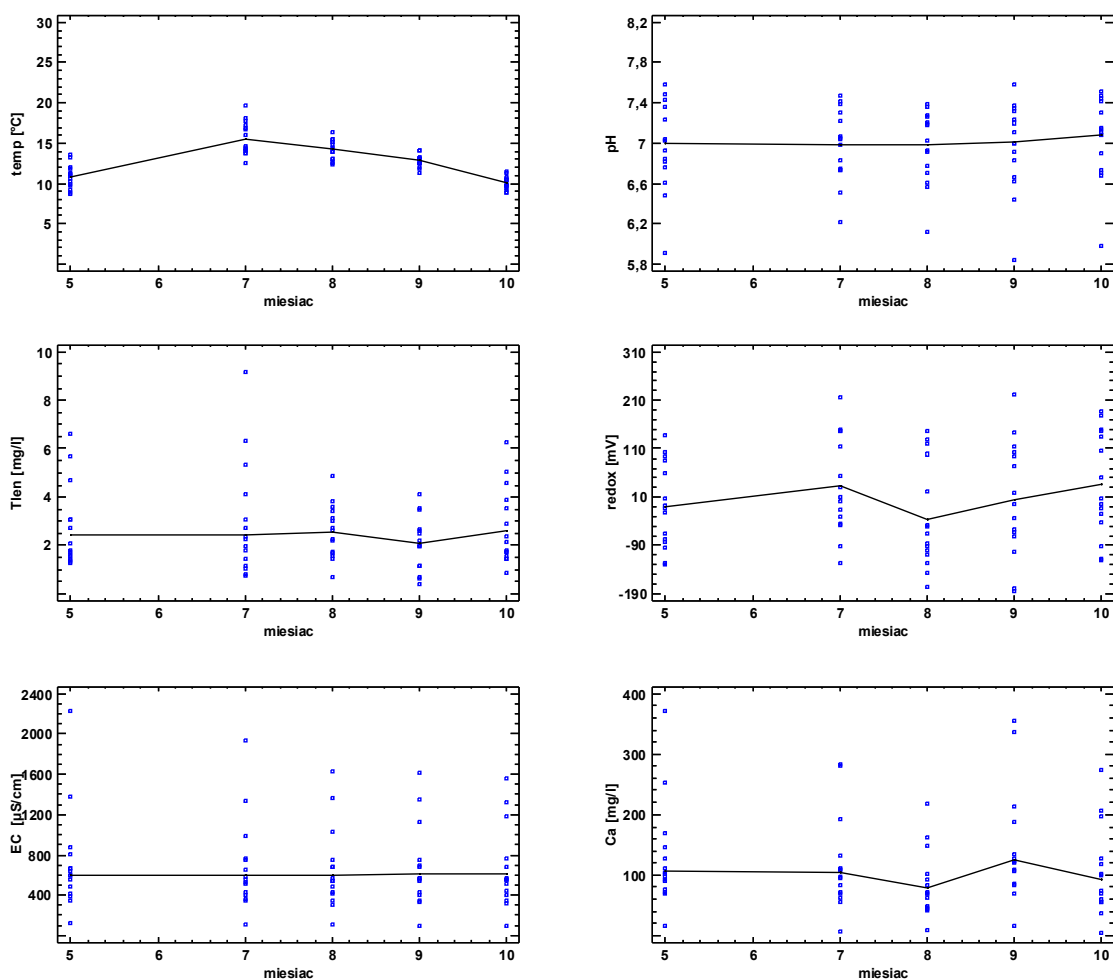


Rys. 8 Sezonowe zmiany jakości wód gruntowych z poziomu utworów organicznych (grupa "Torf"). Wartości reprezentujące poszczególne przekroje pomiarowe zostały wygładzone odporną regresją lokalnie ważoną Robust Lowess. Na wykresie pominięto dane z czerwca 2018 r.

Preservation of wetland habitats in the upper Biebrza Valley Ochrona siedlisk mokradłowych doliny Górnej Biebrzy



Rys. 9 Przestrzenne zróżnicowanie jakości wód gruntowych z utworów mineralnych



Rys. 10 Sezonowe zmiany jakości wód gruntowych z utworów mineralnych (grupa "Mineralne"). Wartości reprezentujące poszczególne przekroje pomiarowe zostały wygładzone odporną regresją lokalnie ważoną Robust Lowess. Na wykresie pominięto dane z czerwca 2018 r.

Literatura:

1. Banaszuk H. (red.) 2000. Plan Ochrony Biebrzańskiego Parku Narodowego. Operat: Ochrona przyrody nieożywionej i gleb. Maszynopis. NFOŚiGW, BPN, Warszawa.
2. Banaszuk H. 2004a. Ogólna charakterystyka Kotliny Biebrzańskiej i Biebrzańskiego Parku Narodowego. [W:] H. Banaszuk (red.) 2004. Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska. Monografia przyrodnicza. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok, 19-25.
3. Banaszuk H. 2004b. Geomorfologia Kotliny Biebrzańskiej. [W:] H. Banaszuk (red.) 2004. Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska. Monografia przyrodnicza. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok: 44-98.
4. El Kahloun M., Gerard M., Meire P. 2005. Effects of management and groundwater fluctuations on nutrients availability in two phosphorus-limited rich fens. In: W. Kotowski (Ed.) Wethydro Center of Excellence in Wetland Hydrology. Anthropogenic influence on wetlands biodiversity and sustainable management of wetlands. WETHYDRO Series, 3, 35-47.
5. Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i ocena depozycji zanieczyszczeń do podłoża w latach 2016-2018. Wyniki badań monitoringowych w województwie podlaskim w 2017 r. Inspekcja ochrony środowiska. Wrocław, 2018.
6. Sapek A., Sapek B., Chrzanowski S., Jaszczyński J. 2011. Dziesięcioletnie badania zmian stężenia składników mineralnych w różnego rodzaju wodach z obiektów gleb torfowych Zakładu Doświadczalnego ITP w Biebrzy. Woda-Środ. Obszary Wiejskie, 11, 4, 183-196
7. Succow M., Joosten H. (Eds.), 2000. Landschaftsökologische Moorkunde. E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
8. Wassen M.J., Barendregt A., Palczynski A., de Mars H. 1992. Hydro-ecological analysis of the Biebrza mire (Poland). Wetlands Ecology and Management, 2, 119-134.