

Artur Łopatka, Grzegorz Siebielec, Bożena Smreczak

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

**ZASOBNOŚĆ GLEB W PODSTAWOWE SKŁADNIKI
ORAZ ZANIECZYSZCZENIE GLEB I WÓD AZOTANAMI***

Słowa kluczowe: gleba, składniki pokarmowe, mapa glebowo-rolnicza, azotany, nawożenie

Wstęp

Zasobność gleb w podstawowe składniki pokarmowe dla roślin jest rezultatem złożonych procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych, w tym wietrzenia skał macierzystych, rozpuszczania soli w roztworze glebowym, przemywania w głąb profilu, sorpcji na powierzchni minerałów ilastych czy tworzenia glebowej materii organicznej. Niemal zamknięte obiegi większości składników pokarmowych w naturalnych formacjach roślinnych skutkują stanem równowagi, w którym zasobność gleb w składniki pokarmowe jest stała w czasie. Na glebach użytków rolnych (UR) lokalne bilanse składników pokarmowych nie są zamknięte – składniki pokarmowe dostarczane są w nawozach, a wynoszone w zbieranych z pola plonach lub wypłukiwane do wód gruntowych. Zmiany w technologii produkcji, zmiany popytu na wybrane produkty rolne, czy też kosztów wytworzenia rolniczych czynników produkcji prowadzą do zmian opłacalności nawożenia i w efekcie do zmian bilansów podstawowych składników pokarmowych. W okresach gdy stosunek cen nawozów do cen plonów jest niski, rośnie nawożenie a niepobrane przez rośliny uprawne składniki pokarmowe (jak np. azot) są częściowo kumulowane jako składnik glebowej materii organicznej. Dzięki temu nie trafiają w całości do wód gruntowych i nie powodują ich nadmiernej eutrofizacji, a ponadto mogą być wykorzystane w późniejszych okresach silnego wzrostu stosunku cen nawozów do cen plonów, gdy spadek nawożenia sprzyja mineralizacji glebowej materii organicznej. Ta buforowa funkcja gleby łagodzi więc zarówno presję środowiskową, jak i niekorzystne skutki ekonomiczne dla producentów rolnych. Pomimo istnienia teoretycznych ram dla

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.9 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

opisanych procesów ich sumaryczny kierunek nawet w okresach stosunkowo stabilnych ekonomicznie jest trudny do przewidzenia. Analizy takie utrudnia zarówno złożoność ekonomicznych modeli optymalizacji nawożenia w warunkach częściowego buforowania przez glebę dostępności składników pokarmowych (3, 7, 15), jak i wciąż niedostateczne rozumienie mechanizmów akumulacji i dekompozycji glebowej materii organicznej, które dobitnie przejawia się w trudności odtworzenia przez znane modele przestrzennego zróżnicowania zasobów materii organicznej w glebach na świecie (24) oraz tempa jej dekompozycji w różnych strefach klimatycznych (2). Rozbieżność wydaje się być również widoczna pomiędzy opartym na współczynnikach reprodukcji-degradacji bilansem próchnicy dla gleb gruntów ornych (GO) Polski, który wykazuje (14) największe ujemne saldo bilansu próchnicy ($-0,45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) w województwie dolnośląskim i niewielkie dodatnie ($0,02 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) w województwie wielkopolskim, a pomiarami zawartości próchnicy w glebach GO (21), gdzie bardzo niski jej poziom raportuje się w województwie wielkopolskim, a wysoki w województwie dolnośląskim.

Dotkliwe środowiskowe skutki przenawożenia powodują, że w Polsce monitoruje się zarówno bilanse podstawowych składników pokarmowych na poziomie pola czy gospodarstwa (5, 11, 13), jak i zawartość składników pokarmowych w glebie (10, 20, 22). W niniejszej pracy przedstawiono wyniki dwu takich monitoringu pod względem zasobności ornej warstwy gleb UR w przyswajany fosfor P_2O_5 , potas K_2O , magnez Mg (22) oraz stężenia azotanów N-NO_3 w wodach drenarskich (10), po przetworzeniu danych punktowych na szczegółowe mapy zawartości składników pokarmowych na UR całego kraju, autorską metodą interpolacji (17) wykorzystującą wektorowe dane mapy glebowo-rolniczej. Stopień szczegółowości uzyskanych map pozwolił na odczytanie średnich zasobności gleb UR dla poszczególnych gmin i porównanie ich z ładunkami składników pokarmowych wprowadzanych w nawozach. Wizualizacja na mapach w skali gmin relacji nawożenia z zasobnością gleb stwarza szansę na pogłębienie rozumienia przyczyn i efektów polaryzacji intensywności rolnictwa (12) oraz ulepszenie instrumentów Wspólnej Polityki Rolnej dedykowanych ochronie środowiska.

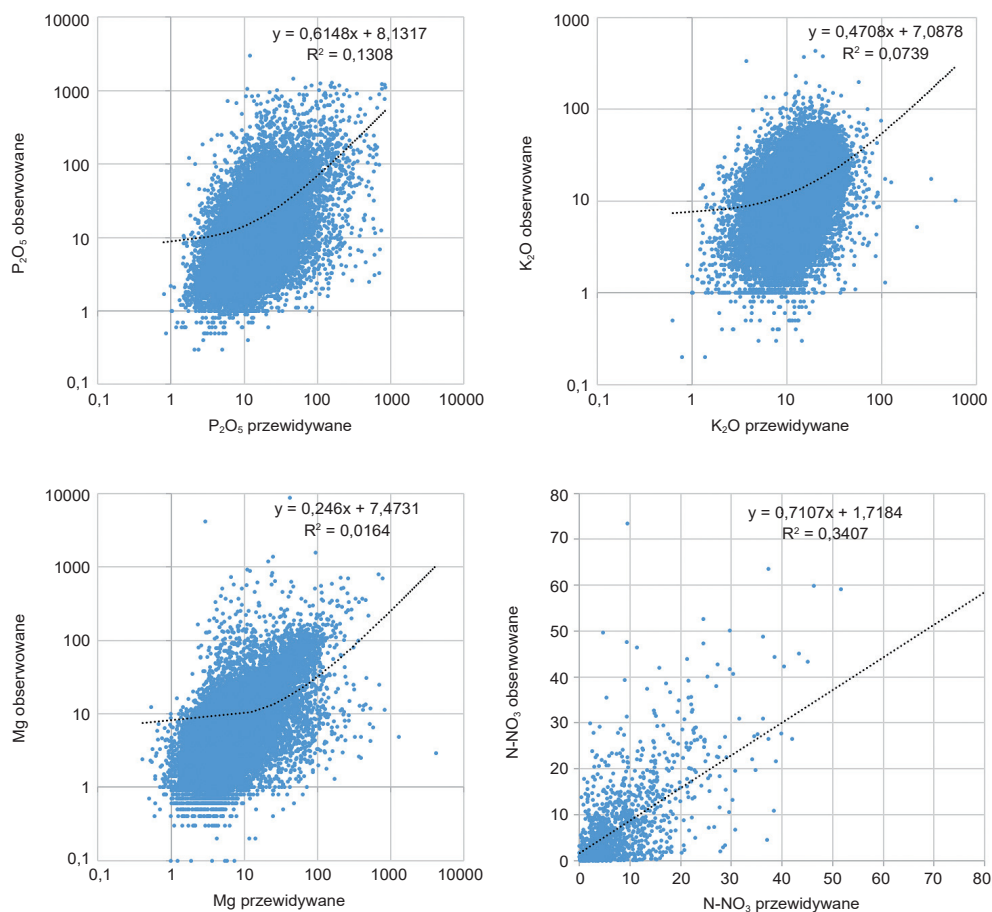
Metodyka

Mapy zasobności warstwy ornej (0–20 cm) gleb UR w przyswajany fosfor P_2O_5 , potas K_2O i magnez Mg opracowano w oparciu o próbki gleb pobrane z 41536 lokalizacji rozmieszczonych jednorodnie i losowo na powierzchni UR całego kraju w latach 2014–2015. Próbkę te zostały wybrane z puli 160 228 próbek pobranych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze (OSChR) w ramach badań odczynu gleb na potrzeby wyznaczenia nowych obszarów ONW (18). Próbkę glebowe zostały w latach 2016–2017 przeanalizowane laboratoryjnie przez OSChR-y pod kątem rozpatrywanych parametrów (P_2O_5 , K_2O , Mg) w ramach monitoringu prowadzonego na potrzeby oceny skutków Wspólnej Polityki Rolnej (22).

Mapę stężeń azotanów w wodach drenarskich (płytkich wodach gruntowych na UR) opracowano, interpolując medianę wartości pomiarów N-NO_3 wykonywanych dwa razy do roku (wiosną i jesienią) w latach 2008–2012 w 1697 lokalizacjach rozmieszczonych jednorodnie i losowo na powierzchni UR całego kraju (10), będących częścią puli około 5000 lokalizacji monitorowanych w programie MonitAzot prowadzonym na potrzeby oceny zagrożenia eutrofizacją (4, 8).

Interpolację wartości z lokalizacji punktowych na powierzchnię UR przeprowadzono metodą opracowaną na potrzeby tworzenia map zagrożeń gleb (17), polegającą na przypisaniu do każdego z poligonów UR na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:100 000 średnich ważonych wartości interpolowanego parametru z próbek spełniających zadane kryteria podobieństwa. Największy wpływ na wartość podobnie jak w metodzie IDW (ang. *Inverse Distance Weighting*) miały wartości mierzone w sąsiedztwie (eksperycko ustalono współczynnik potęgowy $p = 3$), a wagi wpływu zmiennych objaśniających dodatkowych (których zgodność w poligonie i profilu nie jest warunkiem koniecznym) estymowano metodą najmniejszych kwadratów (rys. 1). Warstwami zmiennych objaśniających dodatkowych były: kategorie agronomiczne gleb (bardzo lekkie, lekkie, średnie, ciężkie, organiczne) określone z uziarnienia profili wzorcowych; użytkowanie terenu (GO, TUZ, lasy, wody, tereny zurbanizowane) odczytane z bazy profili wzorcowych oraz wysokość n.p.m. lokalizacji, z której pobrano próbkę (13 przedziałów: 0–25, 25–50, ..., 225–250, 250–300, 300–500, >500 m) odczytana z numerycznego modelu terenu. Ze względu na brak oczywistych przesłanek nie stosowano warunku koniecznego zgodności.

Uzyskane wagi dla większości parametrów gleb pokazują, że użytkowanie terenu lub kategoria agronomiczna są czynnikami znacznie silniej wpływającymi na wartości analizowanych parametrów gleb niż wysokość n.p.m. (tab. 1). Z wykorzystaniem wag z tabeli 1, parametry gleb zostały wyinterpolowane na obszarze kraju przez przypisanie wartości interpolowanych parametrów do poligonów mapy glebowo-rolniczej w skali 1:100 000.



Rys.1. Dopasowanie wartości przewidywanych i mierzonych dla składników pokarmowych w glebach (zawartości: P_2O_5 , K_2O i Mg) i wodach gruntowych (zawartość $N-NO_3$)

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1

Estymowane wagi zmiennych dla warunków dodatkowych wykorzystywanych w interpolacji

Składnik pokarmowy	Zmienna dla warunku koniecznego zgodności	Wagi zmiennych dla warunków dodatkowych:			R^2	N
		kateg. agr.	użytk. terenu	wysokość n.p.m.		
Fosfor P_2O_5 $mg \cdot (100 g)^{-1}$	-	0,88	0,08	0,04	0,13	41536
Potas K_2O $mg \cdot (100 g)^{-1}$	-	0,28	0,72	0,00	0,07	41536
Magnez Mg $mg \cdot (100 g)^{-1}$	-	1,00	0,00	0,00	0,02	41536
Azot azotanowy $N-NO_3$ $mg \cdot dm^{-3}$	-	0,05	0,95	0,00	0,34	1697

Źródło: opracowanie własne

Pomimo że nawożenie jest tylko jedną ze składowych bilansu składników pokarmowych w glebie, w gospodarstwach podobnego typu ilość składników pokarmowych wynoszonych z plonem jest w pierwszym przybliżeniu liniową funkcją nawożenia (np. Sylvester-Bradley i in., 2009 (23); Quemada i in., 2020 (19)) co sprawia, że można w nich oczekiwać również liniowej relacji pomiędzy nawożeniem a saldem bilansu składnika pokarmowego.

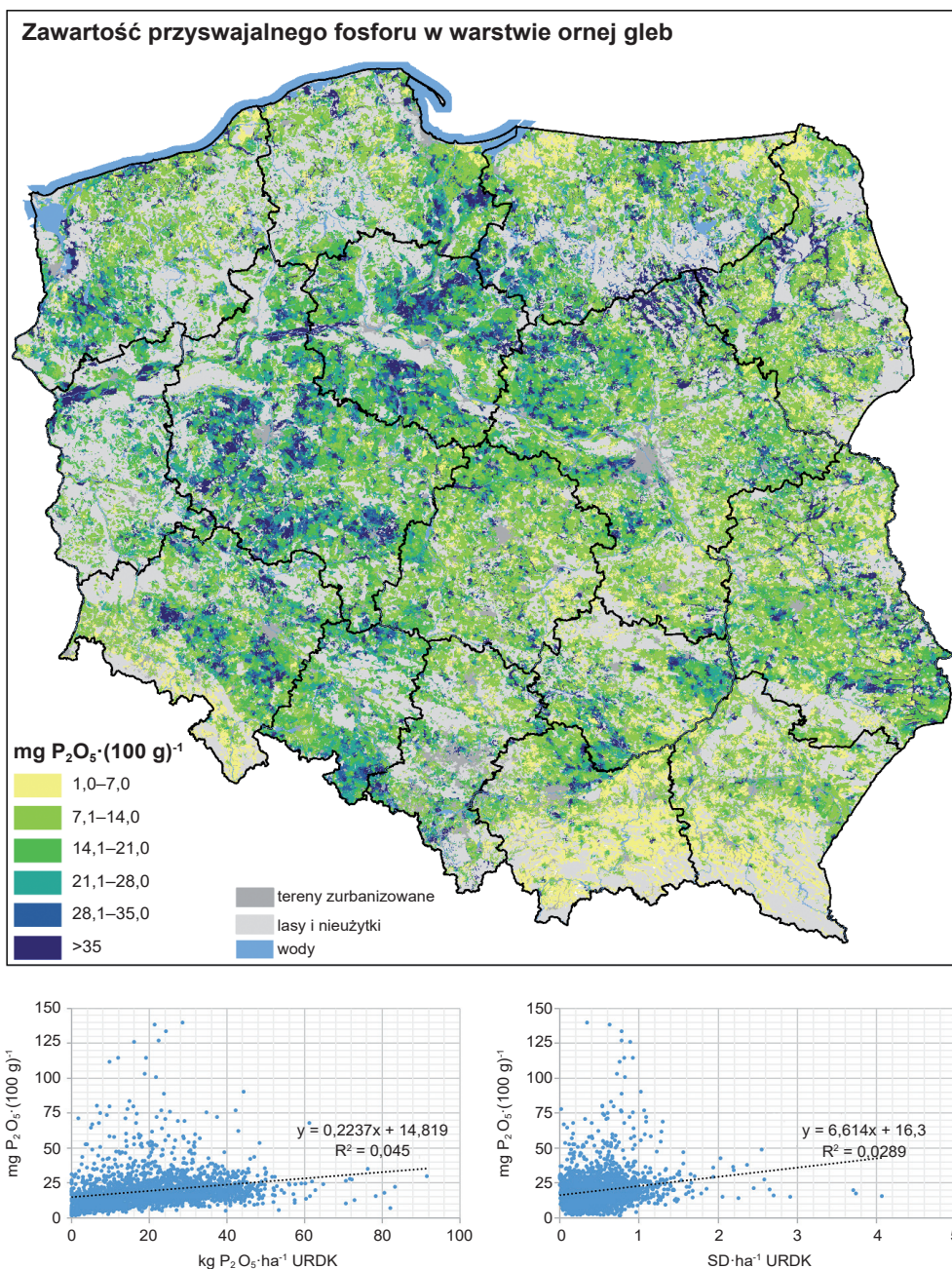
Podjęto więc próbę objaśnienia interpolowanych parametrów zasobności gleb, uśrednionych na UR gmin, metodą regresji liniowej wielokrotnej, gdzie zmiennymi niezależnymi były średnie ładunki nawozów mineralnych (w przeliczeniu na odpowiedni czysty składnik) stosowanych na powierzchni jednostkowej 1 ha użytków rolnych w dobrej kulturze (URDK) oraz obsada zwierząt na 1 ha URDK wyrażona w sztukach dużych (SD). Porównań dokonano na poziomie gmin, ponieważ jest to najniższy poziom jednostek administracyjnych, dla których dostępne są oficjalne dane dotyczące nawożenia i obsady zwierząt (6). W przypadku regresji dla magnezu ze względu na brak danych o stosowaniu Mg w przeliczeniu na czysty składnik używano jako substytut wielkość wapnowania w przeliczeniu na tlenek wapnia CaO, ponieważ stosowanie jednego z nawozów wapniowych (wapna magnezowego) jest jednym z głównych źródeł magnezu dla gleb. Dokonując analizy regresji z pełnej bazy zawierającej dane dla 2479 gmin, usunięto 8 rekordów dla gmin z powierzchnią URDK równą zero; 1 gminę z obsadą zwierząt powyżej $14 \text{ SD} \cdot \text{ha}^{-1}$ URDK (wszystkie inne gminy poza jedną miały obsadę mniejszą od $4 \text{ SD} \cdot \text{ha}^{-1}$ URDK) oraz 1 gminę, dla której na mapie glebowo-rolniczej nie istniały poligony gleb UR.

Na podstawie uzyskanych równań regresji obliczono różnicę pomiędzy wartością parametru przewidywaną z równania regresji a obserwowaną i wyniki przedstawiono na mapach.

Mapy te poddano następnie analizie opisowej celem wstępnej identyfikacji potencjalnych czynników (innych niż nawożenie), które mają wpływ na zasobność gleb bądź stężenie azotanów.

Wyniki

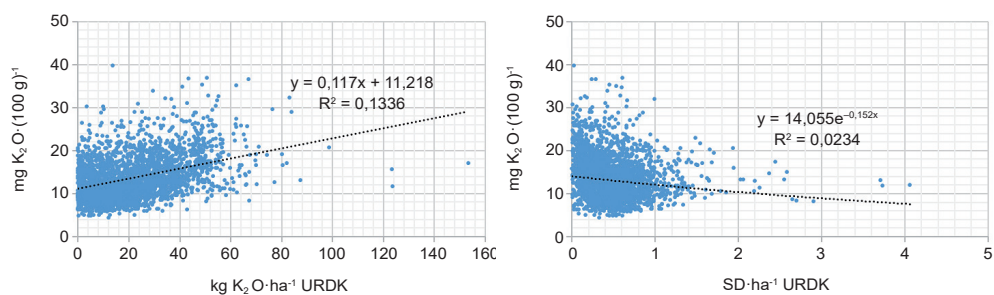
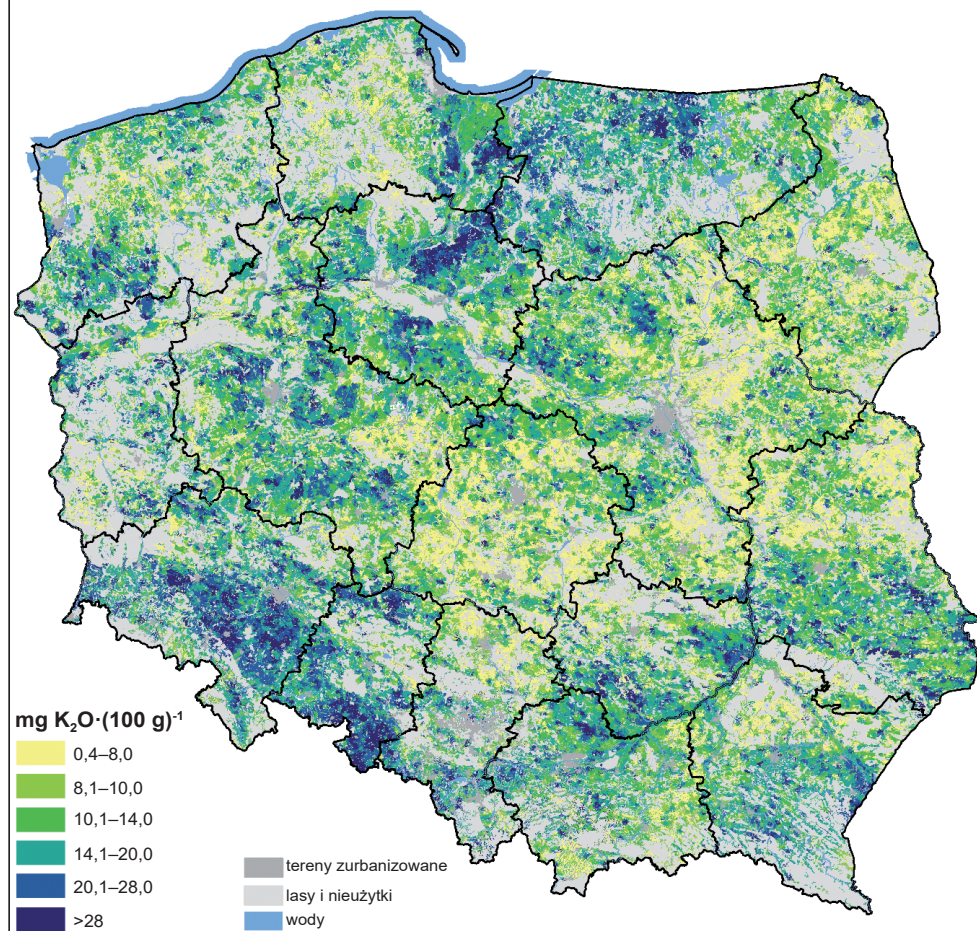
Uzyskane w formie map wyniki interpolacji zasobności gleb w przyswajany fosfor P_2O_5 , potas K_2O i magnez Mg oraz wynik interpolacji stężenia azotanów N-NO_3 w wodach drenarskich zestawiono z odpowiednimi wykresami ilustrującymi zależność poszczególnych parametrów od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt (rys. 2–5). Obliczono także uśrednione w województwach (tab. 2) wartości interpolowanych parametrów na poligonach kompleksów przydatności rolniczej gleb należących do UR (wg mapy glebowo rolniczej w skali 1:100 000).



Rys. 2. Mapa zasobności gleb w P_2O_5 oraz zależność zasobności od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

Źródło: opracowanie własne

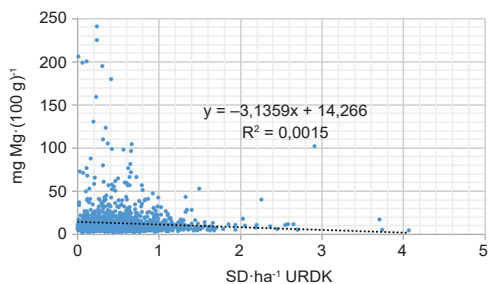
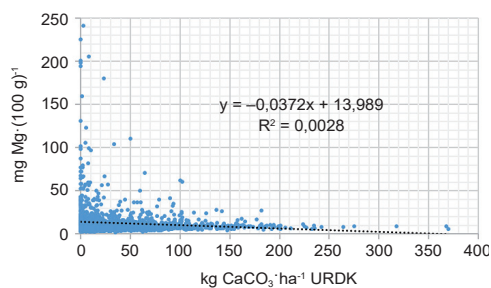
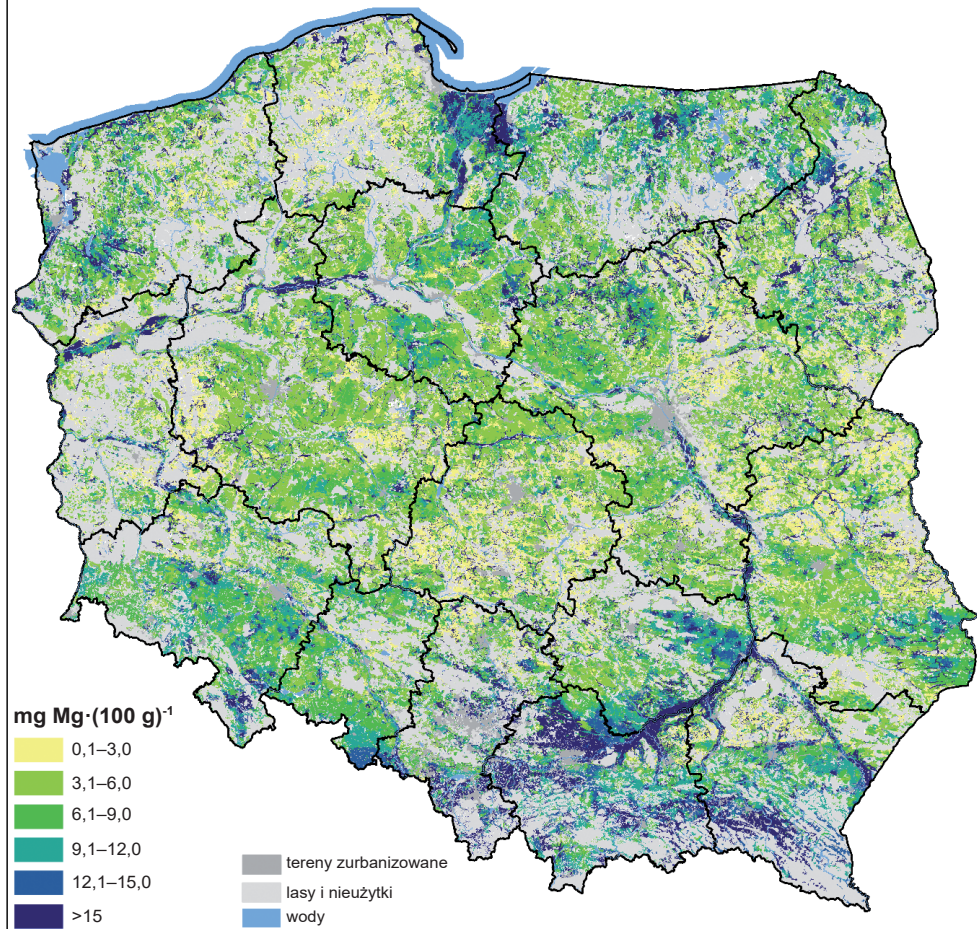
Zawartość przyswajalnego potasu w warstwie ornej gleb



Rys. 3. Mapa zasobności gleb w K_2O oraz zależność zasobności od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

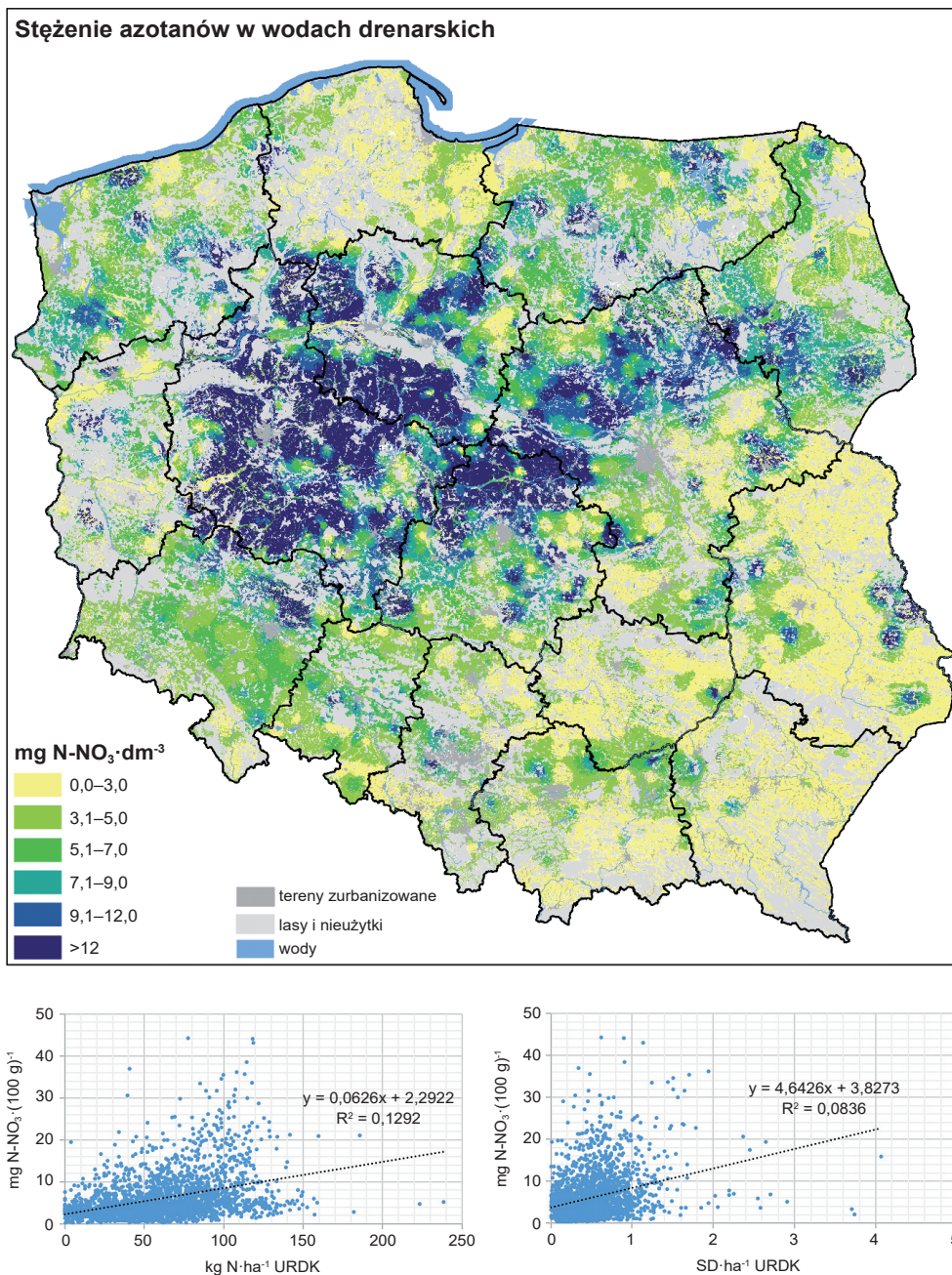
Źródło: opracowanie własne

Zawartość przyswajalnego magnezu w warstwie ornej gleb



Rys. 4. Mapa zasobności gleb w Mg oraz zależność zasobności od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Mapa stężenia azotanów N-NO₃ oraz zależność stężenia od nawożenia mineralnego i obsady zwierząt w gminach

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2

Zasobność gleb w składniki pokarmowe w podziale na województwa (wartości interpolowane)

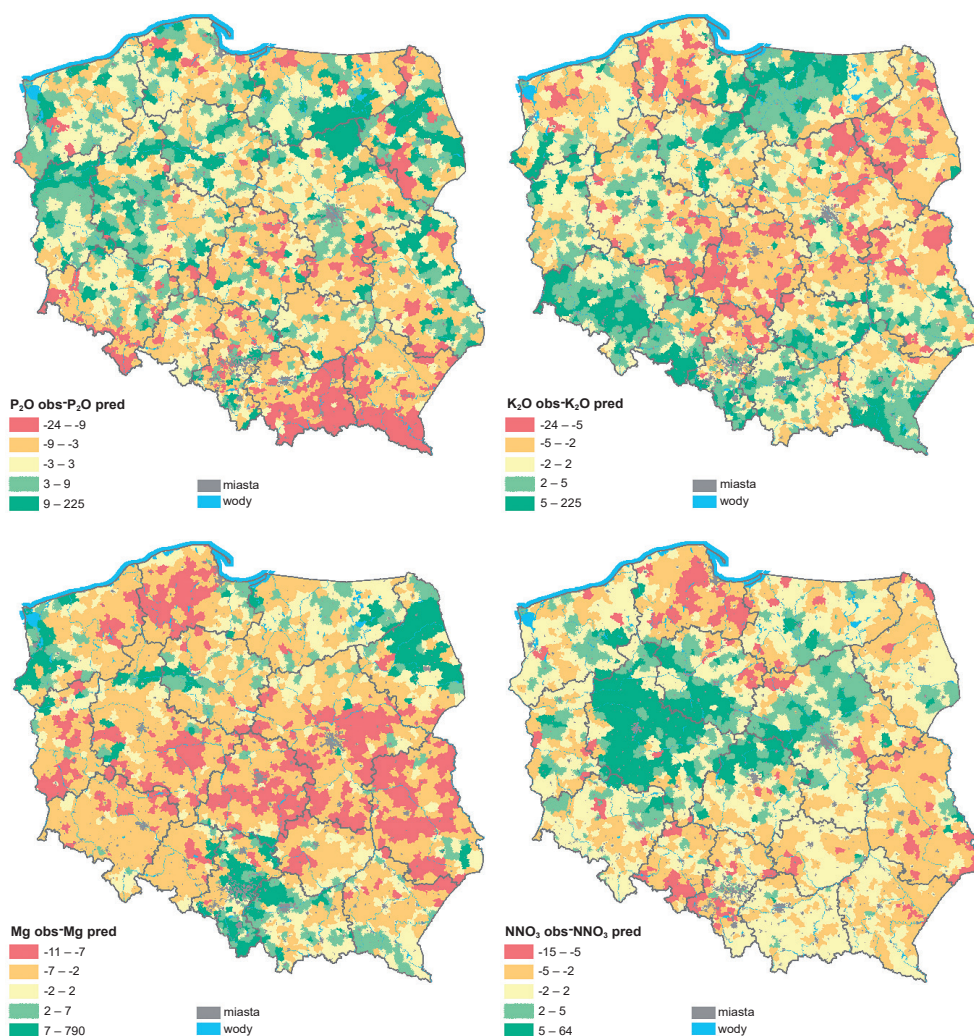
Województwo	Średnia zawartość w $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ w warstwie ornej gleb UR			Średnie stężenie N-NO_3 w $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w wodach drenarskich
	P_2O_5	K_2O	Mg	
Dolnośląskie	17,8	18,9	8,2	5,8
Kujawsko-pomorskie	26,6	16,4	11,4	12,0
Lubelskie	19,8	12,9	7,4	2,5
Lubuskie	26,6	14,7	9,3	5,0
Łódzkie	17,7	10,1	7,3	8,9
Małopolskie	9,9	13,6	20,8	3,2
Mazowieckie	23,0	11,5	7,8	6,9
Opolskie	19,6	20,2	8,9	4,5
Podkarpackie	9,4	14,3	10,8	1,6
Podlaskie	24,9	10,3	19,4	5,6
Pomorskie	20,0	13,8	9,2	2,9
Śląskie	18,0	13,6	34,8	3,5
Świętokrzyskie	16,7	15,0	9,1	3,0
Warmińsko-mazurskie	25,2	16,9	12,4	5,3
Wielkopolskie	25,6	14,6	9,6	16,0
Zachodniopomorskie	20,3	13,6	14,1	5,6
POLSKA	20,6	14,0	11,6	6,4

Źródło: opracowanie własne

Równania uzyskane dla poszczególnych parametrów zasobności gleb po usunięciu zmiennych w regresji statystycznie nieistotnych lub posiadających znak estymowanego współczynnika niezgodny (ujemny) z planowaną interpretacją nawożenia i obsady zwierząt jako czynników wzbogacających glebę w składniki pokarmowe mają postać:

$$\begin{aligned}
 C_{P_2O_5} &= 12,6 + 0,20F_{P_2O_5} + 5,5 SD & R^2 &= 0,064 \\
 C_{K_2O} &= 11,2 + 0,117F_{K_2O} & R^2 &= 0,134 \\
 C_{Mg} &= 12,8 \\
 C_{NNO_2} &= 1,0 + 0,055F_N + 3,6 SD & R^2 &= 0,177
 \end{aligned}$$

Reszty dla powyższych modeli regresji, tzn. różnice pomiędzy wartościami parametrów zasobności gleb przewidywanymi z powyższych równań a obserwowanymi w gminach przedstawiono na mapkach (rys. 6)



Rys. 6. Przestrzenny rozkład reszt modeli regresji dla poszczególnych parametrów zasobności gleb
Źródło: opracowanie własne

Dyskusja

Analiza opracowanych map zasobności gleb wskazuje, że najbardziej zasobne w przyswajalny fosfor i potas są obszary, na których prowadzona jest towarowa produkcja roślinna głównie w województwach: opolskim, dolnośląskim, lubuskim, wielkopolskim, kujawsko-pomorskim i warmińsko-mazurskim (rys. 2–3). Podobny rozkład wysokich wartości zasobności w fosfor i potas wykazują rezultaty interpolacji pomiarów monitoringu LUCAS (1). Pomimo że zachodzi duża wizualna

zgodność zasobności gleb dla fosforu, potasu i magnezu z danymi o nawożeniu w gminach, zarejestrowanymi w trakcie Powszechnego Spisu Rolnego w 2010 roku i zwizualizowanymi w formie map dla gmin (16), to jednak stosunkowo niski stopień wyjaśnienia zasobności przez nawożenie i obsadę zwierząt ($R^2 = 0,064$ dla P_2O_5 i $R^2 = 0,134$ dla K_2O) wskazuje na istnienie innych czynników objaśniających. Analiza reszt dla fosforu P_2O_5 (rys. 6) wskazuje, że prawdopodobnym wyjaśnieniem ich przestrzennego rozkładu jest skład skał macierzystych gleb, gdyż obszary górskie i podgórskie są ubogie w fosfor. W przypadku potasu K_2O najważniejszą rolę wydaje się odgrywać wymywanie z gleb lekkich i o niskim odczynie pH (rys. 6). Dla przyswajalnego magnezu relacja z nawożeniem CaO oraz obsadą zwierząt była ujemna i na granicy istotności, co może sugerować na obszarach intensywnego rolnictwa niewielką przewagę wynoszenia z plonem nad suplementacją w nawozach. Widoczne są też dla Mg (rys. 4) wyraźne szlaki wymycia pierwiastka z obszarów górskich i akumulacji w madach dolin rzecznych, głównie w górnym dorzeczu Wisły. Wysoka przyswajalność Mg oraz jego podatność na wymywanie w glebach Małopolski i Podkarpacia wynika ze znacznego udziału gleb zakwaszonych oraz charakteru skały macierzystej gleb na tych obszarach.

W przypadku stężeń azotanów obserwuje się ich wysokie wartości w obszarze nizin środkowej Polski (rys. 5), gdzie nakładają się strefa niskich opadów i obszar intensywnej produkcji zwierzęcej. Obszary te pokrywają się w większości z zasięgiem obszarów presji rolniczej z wysokimi średnimi stężeniami azotanów (powyżej $10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) modelowanymi deterministycznie jako stosunek salda bilansu azotu do odpływu (9). Model stosowany dla wyznaczania obszarów presji, na podobnym zestawie danych wyjaśnił podobną część przestrzennej zmienności stężeń ($R^2 = 0,35$) jak zastosowana w tej pracy interpolacja ($R^2 = 0,34$). Uzasadnieniem rozkładu reszt dla $N-NO_3$ (rys. 6) jest więc zróżnicowanie stężenia w wodach odcieków glebowych ze względu na ich objętość warunkowaną stosunkiem opadów do ewapotranspiracji.

Przewidywania modeli regresji dla P_2O_5 , K_2O i Mg są gorsze niż dla azotanów, prawdopodobnie dlatego, że są to składniki słabiej wymywane z gleby, a więc niezależne od czynników meteorologicznych o małej zmienności przestrzennej, natomiast zależne od czynników lokalnych o wysokiej zmienności przestrzennej i niekoniecznie powiązanych z użytkowaniem terenu czy uziarnieniem gleb, takich jak: intensywność produkcji czy skład skały macierzystej.

Podsumowanie

Najbardziej zasobne w przyswajalny fosfor i potas są obszary gleb, na których prowadzona jest towarowa produkcja roślinna. Wysokie stężenia azotanów obserwuje się w obszarze nizin środkowej Polski gdzie nakładają się strefa niskich opadów i obszar intensywnej produkcji zwierzęcej. W największym stopniu nawożeniem i obsadą zwierząt można wyjaśnić stężenia azotanów $N-NO_3$ w wodach drenarskich ($R^2 = 0,177$) oraz zasobność gleb w potas przyswajalny K_2O ($R^2 = 0,134$),

a w znikomym – w przyswajalny fosfor P_2O_5 ($R^2 = 0,064$) i magnez Mg. Analiza reszt modeli regresji wskazuje, że duży wpływ na zasobność gleb w przyswajalny potas ma prawdopodobnie łatwość wymycia na glebach kwaśnych, na zasobność w przyswajalny fosfor – mała podatność na wymywanie i skład skał macierzystych gleb, a w przyswajalny magnez – wymywanie z obszarów górskich i akumulacja w dolinach rzek.

Literatura

1. Ballabio C., Lugato E., Fernandez-Ugalde O., Orgiazzi A., Jones A., Borelli P., Montanarella L., Panagos P.: Mapping LUCAS topsoil chemical properties at European scale using Gaussian process regression. *Geoderma* 355, 2019, 113912. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113912>
2. Bonan G.B., Hartman M.D., Parton W.J., Wieder W.R.: Evaluating litter decomposition in earth system models with long-term litterbag experiments: an example using the Community Land Model version 4 (CLM4). *Global Change Biology*, 2013, **19**: 957-974. <https://doi.org/10.1111/gcb.12031>
3. Dhakal C., Lange K., Parajulee M., Segarra E.: Dynamic optimization of nitrogen in plateau cotton yield functions with nitrogen carryover considerations. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 2019, **51(3)**: 385-401. <https://doi.org/10.1017/aae.2019.6>
4. Fotyła M., Kęsik K., Pietruch C.: Azot mineralny w glebach jako wskaźnik potrzeb nawozowych roślin i stanu czystości wód glebowo-gruntowych, *Nawozy i Nawożenie*, 2010, **38**: 5-83. ISSN 1509-8095
5. GUS, 2019: Ochrona środowiska 2019. ISSN 0867-3217 <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-2019,1,20.html>
6. GUS, 2010: Dane Powszechnego Spisu Rolnego 2010. <https://bd1.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/temat>
7. Harper D.C., Lambert D.M., Larson J.A., Gwathmey C.O.: Potassium carryover dynamics and optimal application policies in cotton production, *Agricultural Systems*, 2012, **106(1)**: 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.10.014>
8. Jadczyśzyn T., Pietruch C., Lipiński W.: Resortowy monitoring zawartości azotu mineralnego w glebach Polski w latach 2007–2009, *Nawozy i Nawożenie*, 2010, **38**: 84-110. ISSN 1509-8095
9. Jadczyśzyn T., Łopatka A., Jadczyśzyn J., Koza P.: Raport na zlecenie MRiRW „Ocena presji rolniczej na stan wód powierzchniowych i podziemnych oraz wskazanie obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenia azotanami pochodzenia rolniczego”. IUNG-PIB Puławy, 2011.
10. Jadczyśzyn T.: Baza danych MonitAzot dla lat 2008–2014 opracowana na potrzeby korekty wyznaczenia obszarów presji rolniczej. 2016.
11. Jurga B., Kopiński J.: Bilanse azotu i fosforu jako wskaźniki oddziaływania rolnictwa na środowisko. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2016, **47(1)**: 125-138. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2016.47.07>
12. Kopiński J., Matyka M.: Ocena regionalnego zróżnicowania współzależności czynników przyrodniczych i organizacyjno-produkcyjnych w polskim rolnictwie, *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2016, **1(346)**: 57-79. <https://doi.org/10.30858/zer/83042>
13. Kopiński J., Ochół P.: Gospodarowanie potasem w warunkach zróżnicowanej zasobności gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy*, 2013, **34(8)**: 75-90. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2013.34.06>

14. Kuś J., Kopiński J.: Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie, *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2012, **2/2012(68)**: 5-27.
15. Lambert D.M., Lowenberg-DeBoer J., Malzer G.: Managing phosphorus soil dynamics over space and time. *Agric. Econ.*, 2007, **37**: 43-53. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2007.00221.x>
16. Łopatka A.: Europejski monitoring użytkowania gruntów i baza danych glebowych LUCAS. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 2017, **51(5)**: 73-89. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2017.51.05>
17. Łopatka A., Koza P., Stuczyński T.: Metodyka interpolacji opracowana na potrzeby tworzenia map zagrożeń gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 2018, **58(12)**: 25-34. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2018.58.02>
18. MRiRW, IUNG-PIB, 2017: Technical report presenting the methodology used to designate areas facing natural constraints in Poland based on biophysical criteria. Warsaw, 58 p. Informacja o bazie danych: <http://onw.iung.pulawy.pl/biofizyczne/ph>
19. Quemada M., Lassaletta L., Jensen L.S., Godinot O., Brentrup F., Buckley C., Foray S., Hvid S.K., Oenema J., Richards K.G., Oenema O.: Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. *Agricultural Systems*, 2020, **177**: 102689. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102689>.
20. Siebielec G.: Stały monitoring gleb użytków rolnych Polski, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **51(5)**: 57-72. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2017.51.04>
21. Siebielec G., Kaczyński R., Smreczak B.: Materia organiczna w glebach mineralnych, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, Puławy, 2020, **XX(XX)**: X-XX. <https://doi.org/>
22. Smreczak B.: Program Wieloletni IUNG-PIB na lata 2016–2020; Zadanie 1.3: Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR. 2016. http://pw.iung.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=182Itemid%3D99&Itemid=99
23. Sylvester-Bradley R., Kindred D.R.: Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 2009, **60(7)**: 1939-1951. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp116>
24. Todd-Brown K.E.O., Randerson J.T., Post W.M., Hoffman F.M., Tarnocai C., Schuur E.A.G., Allison S.D.: Causes of variation in soil carbon simulations from CMIP5 Earth system models and comparison with observations, *Biogeosciences*, 2013, **10**: 1717-1736. <https://doi.org/10.5194/bg-10-1717-2013>

Adres do korespondencji:

mgr Artur Łopatka
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 781
email: artur@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Artur Łopatka	0000-0002-6977-4464
Grzegorz Siebielec	0000-0001-8089-6123
Bożena Smreczak	0000-0001-8972-8636