

**INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
W PUŁAWACH**



**Metodyka wyznaczenia obszarów
do objęcia ochroną w ramach normy GAEC 2**



**Ministerstwo Rolnictwa
i Rozwoju Wsi**

Puławy, 2025 r.

Spis treści

Wstęp.....	3
Integracja baz danych przydatnych do wyznaczania gleb organicznych i mokradeł oraz opracowanie metodyki wyznaczania lokalizacji punktów do badań terenowych	4
Badania terenowe i laboratoryjne.....	6
Opracowanie warstwy przestrzennego rozmieszczenia gleb zasobnych w węgiel do wykorzystania przy kwalifikacji działek ewidencyjnych do wyznaczenia obszarów objętych normą GAEC 2	10
Opracowanie warstwy przestrzennego rozmieszczenia obszarów podmokłych do wykorzystania przy kwalifikacji działek ewidencyjnych do wyznaczenia obszarów objętych normą GAEC 2	12
Integracja warstw gleb bogatych w węgiel i terenów podmokłych na użytkach rolnych oraz końcowa optymalizacja mapy obszarów objętych ochroną w ramach normy GAEC 2	14

Wstęp

Celem normy GAEC 2¹ jest ochrona gleb bogatych w węgiel (torfowisk i terenów podmokłych) użytkowanych rolniczo z jednoczesnym zapewnieniem, że prowadzona działalność rolnicza pozwoli zakwalifikować te grunty jako użytki rolne. Z tego względu ochroną należało objąć szczególnie gleby organiczne ze względu na bardzo duże zasoby węgla w profilu tych gleb oraz ich istotne funkcje środowiskowe. Dodatkowo do ochrony należało włączyć tereny podmokłe na użytkach rolnych, w celu utrzymania naturalnych funkcji tych obszarów jako magazynów wody.

Norma GAEC 2 jest jedną z kilku norm warunkowości środowiskowej w ramach Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027 (WPR), której obowiązek wdrożenia wynika wprost z przyjętych w 2021 r. przepisów unijnych. Warunkowość uzależnia otrzymanie pełnego wsparcia w ramach płatności bezpośrednich i płatności obszarowych w ramach II filara WPR. Obowiązuje rolników od 2023 r. W przypadku normy GAEC 2 państwo członkowskie mogło odroczyć jej wdrożenie do 2025 r. i taka decyzja została przez Polskę podjęta.

Ogólne założenia dotyczące normy GAEC 2 zostały wskazane w zaakceptowanym przez Komisję Europejską w 2022 roku polskim Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027 (PS WPR). Określono wówczas, że normą GAEC 2 będą objęte grunty organiczne o zawartości materii organicznej (OM) na poziomie co najmniej 30% i miąższości na poziomie co najmniej 40 cm. Zastrzeżono jednocześnie, że do prawidłowego wdrożenia normy GAEC 2 konieczna będzie weryfikacja stanu gleb bogatych w węgiel i terenów podmokłych. Mimo iż przestrzenne bazy danych o glebach pochodzenia organicznego na mapach glebowo-rolniczych pokrywają obszar całego kraju, to jednak aktualność informacji o położeniu gleb, które spełniałyby kryteria kwalifikacji do objęcia ochroną w ramach normy GAEC 2 wymagała ich weryfikacji i aktualizacji. Wynikało to z faktu, że gleby organiczne mogą podlegać zmianom, w zależności od warunków wodnych oraz sposobu użytkowania. W związku z tym, dla prawidłowego wyznaczenia obszarów, które powinny zostać objęte normą GAEC 2 w latach 2021-2024 Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB) przeprowadził weryfikację stanu gleb bogatych w węgiel i terenów podmokłych. Prace te były realizowane przez IUNG-PIB oraz Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze (OSChR). Oprócz badań terenowych i powiązanych z nimi badań laboratoryjnych do opracowania mapy obszarów GAEC wykorzystano dane satelitarne oraz dostępne dane przestrzenne, takie jak mapa glebowo-rolnicza, Numeryczny Model Terenu (NMT), ortofotomapy, Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT), a także dostępne wcześniej dane punktowe o zawartości materii organicznej w glebach.

Do wyznaczenia terenów podmokłych podlegających normie GAEC 2 wykorzystano BDOT z zasobów Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK), czyli bazę zawierającą

¹ **normy GAEC (1-9) – to normy dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska** (ang. *Good Agricultural and Environmental Condition of Land*). Normy GAEC podobnie jak wymogi podstawowe w zakresie zarządzania (ang. *Statutory Management Requirements*) – wymogi SMR (1-11) są elementami warunkowości środowiskowej WPR 2023-2027. Więcej na ten temat należy szukać m.in. na stronie MRiRW: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/warunkowosc2>

przestrzenną lokalizację obiektów topograficznych, w tym np. kanałów, rowów melioracyjnych, sieci drogowej, mokradeł i terenów podmokłych.

W oparciu o wyniki badań terenowych, laboratoryjnych i analiz IUNG-PIB z okresu 2021-2024 wskazano, że warstwę obszarów GAEC 2 w Polsce definiują kryteria: co najmniej 40% OM i miąższości co najmniej 40%. Kryteria zostały zaakceptowane przez Komisję Europejską i wpisują się w definicję gleb organicznych stosowaną w Światowej Bazie Referencyjnej Zasobów Glebowych. Zapewniają również, że do obszarów GAEC 2 kwalifikowane są grunty rolne najbardziej cenne pod względem ochrony zasobów węgla, co realizuje cel normy, ale zapewnia również utrzymanie naturalnych funkcji tych obszarów jako magazynów wody.

W skali kraju powierzchnia obszarów użytkowanych rolniczo do objęcia normą GAEC 2 (gleb organicznych spełniających kryteria co najmniej 40% zawartości OM i miąższości takiej warstwy co najmniej 40 cm występującej w profilu gleby w zakresie głębokości 0 - 100 cm oraz terenów podmokłych) wynosi ok. 399,9 tys. ha, w tym gruntów ornych (GO) 38 tys. ha i trwałych użytków zielonych (TUZ) ok. 362 tys. ha.

Wizualizacja wyznaczonej warstwy GAEC 2 dostępna jest na stronie: <https://gaec2.iung.pl/>

Ochrona torfowisk i obszarów podmokłych użytkowanych rolniczo wynikająca z normy GAEC 2 obowiązuje w Polsce od 15 marca 2025 r. W rozporządzeniach Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi określono zarówno [kryteria dla obszarów objętych normą GAEC 2](#), jak i [wymogi obowiązujące na tych obszarach](#).

Szczegółowy opis normy GAEC 2 dostępny jest na stronie MRiRW:

<https://www.gov.pl/web/rolnictwo/norma-gaec-2>

Integracja baz danych przydatnych do wyznaczania gleb organicznych i mokradeł oraz opracowanie metodyki wyznaczania lokalizacji punktów do badań terenowych

Integracja danych dostępnych przed rozpoczęciem prac nad wyznaczeniem obszarów do objęcia normą GAEC 2

W początkowej fazie realizacji prac nad wyznaczeniem obszarów do objęcia normą GAEC 2 dokonano integracji dostępnych danych o poziomie zawartości węgla w glebach pochodzenia organicznego oraz przydatnych danych przestrzennych.

W tym celu wykorzystano następujące dane:

- mapa glebowo-rolniczej 1:25000,
- dane z obszarów testowych objętych badaniami IUNG-PIB z okresu 2016-2020,
- dane o użytkowaniu gruntów z uwzględnieniem danych Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR) oraz ortofotomapy GUGiK – pierwotną warstwą użytkowania gruntów jest mapa glebowo-rolnicza, która zawiera podstawowe informacje takie jak lasy, grunty orne, użytki zielone. Mimo, iż informacje te są aktualizowane,

to w odniesieniu do precyzyjnego określenia trwałych użytków zielonych (TUZ) i gruntów ornych (GO) wymagały uwzględnienia również danych z systemów ARiMR oraz ortofotomapy z zasobów GUGiK,

- bazę BDOT10k w skali 1:10 000 z zasobów GUGiK oraz pomocniczo dane OpenStreetMap. Baza BDOT10k, to wektorowa baza danych zawierająca przestrzenną lokalizację obiektów topograficznych, gdzie zawarte są informacje dotyczące sieci wodnej, w tym kanałów, rowów melioracyjnych (szczególnie istotne na glebach organicznych), obszarów podmokłych, sieci drogowej (istotnej w kontekście dojazdu do punktów terenowych). Obraz prezentacji tych danych zbliżony jest do tradycyjnej mapy topograficznej w skali 1:10 000. Dane OpenStreetMap wykorzystywano do oceny możliwości dotarcia do określonej lokalizacji,
- Numerycznego Modelu Terenu (NMT) - dostępny w zasobach GUGiK model terenu o rozdzielczości przestrzennej 1 m, który zapewnia bardzo dużą dokładność. Dane w modelu są pozyskiwane techniką LIDAR (ang. Light Detection and Ranging), opartą na wykorzystaniu światła laserowego, dzięki czemu powstają trójwymiarowe mapy, precyzyjnie oddające ukształtowanie powierzchni. Formy ukształtowania terenu dobrze oddają zasięgi różnych typów gleb np. pagórki morenowe czy doliny, obniżenia związane z glebami organicznymi. W trakcie tworzenia mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000 korzystano z map topograficznych, jednak rozdzielczość wysokościowa określona przez poziomicę (rzędu kilku metrów) nie pozwalała dokładnie określić form terenu. Cyfrowy NMT pozwala w odległości 1 metra określić zmianę wysokości na poziomie kilku – kilkunastu centymetrów, która ma znaczenie dla warunków wilgotnościowych wpływających na procesy zachodzące w glebie organicznej,
- dane z satelitarnej teledetekcji, takie jak dane spektralne NDWI (ang. Normalized Difference Water Index), NDTI (Normalized Difference Thermal Index) i TWI (Topographical Wetness Index).
- dane z bazy glebowych profili referencyjnych, zawierających informację o układzie profilu gleby i miąższości warstw, posiadanej przez IUNG-PIB.

Uzasadnienie badań terenowych w latach 2021-2023

Wstępna ocena wyników badań obszarów testowych uzyskanych przez IUNG-PIB w okresie 2016 – 2020 w połączeniu z informacją zawartą na mapie glebowo-rolniczej wykazała, że znaczna część gleb oznaczonych na mapie glebowo-rolniczej definiowanych jako „gleby organiczne”, może nie spełniać kryteriów kwalifikacji do gleb organicznych. Fakt ten mógł wynikać w największym stopniu ze zmian warunków wodnych na przestrzeni lat. Dane testowe z okresu 2016-2020 zostały jednak wykorzystywane do ukierunkowywania badań terenowych, w tym lokalizacji nowych punktów badań terenowych w latach 2021-2023.

Metodyka wyznaczania lokalizacji punktów do terenowych badań gleb organicznych w latach 2021-2023

W 2021 roku opracowano metodykę wyznaczenia lokalizacji punktów do terenowych badań gleb pochodzenia organicznego.

W pierwszej fazie wyznaczania punktów do badań stworzony został wstępny model zależności pomiędzy danymi satelitarnymi a poziomem zawartości węgla na obszarach oznaczonych na mapie glebowo-rolniczej jako gleby pochodzenia organicznego. Bazę danych do analizy zależności pomiędzy danymi spektralnymi i zawartością materii organicznej stanowiły wyniki badań IUNG-PIB pozyskane w okresie 2016-2020.

W kolejnych fazach wyznaczania punktów do badań terenowych wykorzystywano wspomniane wcześniej dane przestrzenne, dane satelitarne, w tym takie powszechnie stosowane wskaźniki spektralne jak NDTI (Normalized Difference Thermal Index) i TWI (Topographical Wetness Index), oraz nowo pozyskiwane dane z prac terenowych i laboratoryjnych.

Opierając się już na wynikach badań terenowych z 2021 r., do procesu wyznaczania lokalizacji punktów badań terenowych wykorzystywany był NMT o wysokiej rozdzielczości (1 m), stworzony w oparciu o dane LIDAR. Jak wykazały analizy danych nawet różnice w wysokości położenia punktu na poziomie kilkunastu – kilkudziesięciu centymetrów miały wyraźny wpływ na zmierzoną zawartość materii organicznej w glebie.

Dokładna lokalizacja punktów odzwierciedlała konieczność uchwycenia zmienności przestrzennej obszarów pokrytych glebami pochodzenia organicznego, w tym reprezentację różnych typów gleb na mapie glebowo-rolniczej, zmienność wskaźników satelitarnych odnoszących się do wilgotności gruntu, sieć rowów melioracyjnych, użytkowanie terenu (GO, TUZ, nieużytki), ukształtowanie powierzchni.

Informacją dodatkową, przydatną do wyznaczania punktów do badań terenowych w latach 2021 – 2023 była dostępność obiektu do badań, którą oceniano z wykorzystaniem sieci drogowej oraz sieci rzecznej, która często stanowi barierę w pracach terenowych.

Z uwagi na konieczność dalszej optymalizacji metodyki tworzenia mapy obszarów dla normy GAEC 2 przyjęto założenie, że prowadzone będą zarówno badania szczegółowe (kilka punktów na jednym konturze gleby pochodzenia organicznego aby zweryfikować rzeczywisty zasięg gleb organicznych), jak i przekrojowe (1 punkt na konturze) poszczególnych obiektów, aby objąć badaniami jak największy obszar kraju.

Badania terenowe i laboratoryjne

W badania terenowe związane z wyznaczaniem obszarów dla normy GAEC 2 zaangażowani byli pracownicy IUNG-PIB oraz pracownicy OSChR. Dla prawidłowego przeprowadzenia badań terenowych gleb organicznych przygotowana została szczegółowa metodyka prac terenowych i instrukcja pobierania próbek, co zostało opisane w dalszej części.

Metodyka prac terenowych

Badania terenowe obejmowały ocenę gleb w warunkach polowych, dokumentację opisową i fotograficzną w każdym punkcie pomiarowym, pobranie próbek do analiz laboratoryjnych z głębokości odpowiadających położeniu warstwy organicznej w profilu gleby, w zależności od układu profilu gleby, oraz określenie głębokości zalegania warstwy organicznej (miąższości) (Rys. 1).





Rysunek 1. Przykładowe lokalizacje miejsc pobrania próbek glebowych na glebach pochodzenia organicznego na użytkach rolnych.

Prace terenowe wykonywane w każdym punkcie pomiarowym obejmowały:

a) Dotarcie do wyznaczonego punktu, w tym:

- wstępną ocenę miejsca poboru, określenie użytkowania gruntu;
- wytypowanie miejsca poboru próbki względem wyznaczonej lokalizacji GPS;
- w przypadku punktu znajdującego się na granicy gruntów, przejście w głąb konturu glebowego;
- w przypadku wyznaczenia punktu na glebie mineralnej (w pobliskiej odległości od gleby organicznej) pobieranie dwóch próbek gleb: na glebie mineralnej i sąsiadującej organicznej;
- zapisanie końcowej lokalizacji punktu urządzeniem GPS.

b) Pobranie próbki, w tym:

- wbicie laski w glebę na głębokość 0-100 cm jeśli w miejscu pobrania występowała gleba organiczna w całym profilu;
- w przypadku gleby mineralnej, gdy nie występował poziom organiczny pobierany był wierzchni poziom 0 – 30 cm;
- w przypadku występowania w górnej warstwie gleby organicznej a niżej gleby mineralnej, pobierany był poziom organiczny, a dla gleby mineralnej wykonane badanie organoleptyczne oraz wstępne określenie składu granulometrycznego;
- wykonanie pomocniczego wykopu obok miejsca poboru w celu weryfikacji próbki znajdującej się w próbniku;
- pobór przeprowadzony był w sposób umożliwiający zebranie materiału w sposób możliwie reprezentatywny czyli wykonywano co najmniej 3 ułucia laski w promieniu do 5 metrów.

c) Opis próbki, w tym:

- opisanie poziomów w profilu glebowym wraz z ich miąższością;
- oznaczenie worka z próbką z uwzględnieniem nazwy punktu, głębokości oraz wstępnej oceny typu gleby;
- udokumentowanie opisu w zeszycie.

d) Dokumentację fotograficzną, w tym wykonanie:

- zdjęcia pobranej próbki w lasce glebowej;
- zdjęcia terenu wokół punktu z dwóch kierunków;
- opisu szaty roślinnej występującej w pobliżu punktu wraz ze zdjęciami.

W 2021 r. badania terenowe były prowadzone przez IUNG-PIB we wschodniej części kraju. Wyznaczono 700 punktów terenowych, z których udało się pobrać próbki w 662 lokalizacjach.

W 2022 r. i 2023 r. dokonano wyznaczenia punktów również w pozostałych regionach kraju. W latach 2022 – 2023 pełnoskalowe badania w wyznaczonych przez IUNG-PIB punktach terenowych były realizowane przez IUNG-PIB oraz OSChR.

W 2022 r. wyznaczono punkty do części badań terenowych prowadzonych przez pracowników IUNG-PIB w 1100 miejscach, spośród których udało się pobrać i przeanalizować próbki glebowe w 999 punktach. Dla OSChR wyznaczonych zostało 4371 punktów badania gleb organicznych, z czego pobrano próbki i wykonano analizy dla 4185 punktów. Do badań terenowych w 2023 r. wyznaczono 1000 lokalizacji do zrealizowania przez pracowników IUNG-PIB, natomiast 4222 punkty stanowiły pulę punktów przeznaczonych do realizacji przez OSChR w ramach *Planu Działań dla Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej i Okręgowych Stacji Chemiczno-Rolniczych na 2023 r.* W warunkach terenowych pracownikom IUNG-PIB udało się pobrać próbki z 738 lokalizacji, natomiast OSChR-y dostarczyły dane pomiarowe pochodzące z 3 882 lokalizacji. Brak pobrania próbek z pewnej części punktów w latach 2021 – 2023 w stosunku do ich wyznaczonej liczby, wynikał przede wszystkim z niemożliwości dotarcia do wskazanego punktu (tereny zalane, nieprzejezdne, ogrodzone, itp). Wyniki laboratoryjnych

analiz próbek gleby pobranych w trakcie prac terenowych zostały wykorzystane w dalszej fazie do opracowania warstw przestrzennego rozmieszczenia gleb bogatych w węgiel.

Zestawienie danych dotyczących liczby planowanych punktów terenowych i liczby lokalizacji, z których pobrano próbki w okresie 2021-2023

	2021		2022		2023	
	planowano	pobrano	planowano	pobrano	planowano	pobrano
IUNG-PIB	700	662	1 100	999	1 000	738
OSChR	-	-	4 371	4 185	4 222	3 882
RAZEM	700	662	5 471	5 184	5 222	4 620

W ramach badań terenowych w okresie 2021-2023 łącznie pobrano i przeanalizowano próbki z 10 466 lokalizacji.

Metodyka prac laboratoryjnych

Pobrane przez IUNG-PIB próbki glebowe były transportowane do laboratorium Zakładu Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów IUNG-PIB w celu oznaczenia zawartości materii organicznej. Próbki pobrane przez OSChR były analizowane w laboratoriach OSChR.

Zakres prac laboratoryjnych do wykonania na pobranych próbkach był opisany w stosownych instrukcjach przekazanych pracownikom IUNG oraz OSChR.

Prace laboratoryjne składały się z suszenia próbki i jej przygotowania do analiz oraz pomiaru wilgotności gleby metodą suszenia w temperaturze 105 °C oraz pomiaru zawartości materii organicznej i odczynu gleby a następnie archiwizacji pozostałej części próbki. Zawartość OM była mierzona metodą straty żarowej w temperaturze 550°C, a pomiar odczynu gleby wykonywano w zawiesinie wodnej metodą potencjometryczną.

Opracowanie warstwy przestrzennego rozmieszczenia gleb zasobnych w węgiel do wykorzystania przy kwalifikacji działek ewidencyjnych do wyznaczenia obszarów objętych normą GAEC 2

W początkowej fazie opracowywania modelu zawartości materii organicznej założono, że będzie się on opierał na danych teledetekcyjnych, NMT oraz danych punktowych z badań terenowych. Danymi towarzyszącymi będą: (i) mapa glebowo-rolnicza zawierająca wyjściowe informacje o położeniu gleb organicznych, (ii) baza BDOT oraz (iii) dane o sposobie użytkowania gruntu (GO, TUZ).

We wstępnej fazie prac poszukiwano zależności pomiędzy różnymi wskaźnikami spektralnymi z danych satelitarnych a wynikami pomiarów zawartości materii organicznej oraz testowano sposoby transformacji danych i różne modele regresyjne dla uzyskania jak najlepszych przewidywań zawartości materii organicznej. Rozwijano również algorytmy dla zależności pomiędzy danymi wysokościowymi z NMT a zawartością materii organicznej w glebie. Modele

te były optymalizowane w miarę włączania do bazy danych wyników pochodzących z badań terenowych i laboratoryjnych.

Końcowy model przestrzennego rozmieszczenia gleb bogatych w węgiel został ostatecznie zoptymalizowany w 2024 r. po zaimplementowaniu wszystkich danych punktowych pochodzących z 2023 r. Podstawą do opracowania zoptymalizowanej wersji modelu zawartości materii organicznej w glebach była baza danych, która po usunięciu danych niepełnych lub błędnych liczyła dla wierzchniej warstwy (0-30cm) 14 610 profili glebowych, w których zmierzono zawartość OM. Na tę liczbę składały się wyniki uzyskane w pracach terenowych w latach 2021 – 2023 obejmujące dane dla 10 466 lokalizacji oraz dane monitoringowe zgromadzone przez IUNG-PIB w latach 2016 - 2020. Profile z pomiarem OM w głębszych warstwach były mniej liczne i ich liczba wynosiła 4 250 dla najgłębszej warstwy sięgającej 100m.

Dzięki temu, że baza danych posiadała informacje dla różnych głębokości i miąższości pobranych w terenie próbek możliwe było jej opracowanie w sposób umożliwiający przewidywanie zawartości materii organicznej na różnych głębokościach. Model składa z dwu części (komponentów) kalibrowanych osobno i wykorzystujących oprócz danych z mapy glebowo-rolniczej odmienne zestawy pomocniczych danych skorelowanych z OM:

Komponent 1 - wykorzystujący wskaźniki oparte o dane satelitarne Sentinel 1 i 2 o rozdzielczości 10 m (po selekcji wstępnej były to: (i) wartości odbicia promieniowania mikrofalowego (radar) w polaryzacji VH (Vertical, Horizontal) oraz (ii) średnie wartości wskaźnika NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dla czerwca oraz sierpnia, (iii) wysokość i nachylenie terenu (baza danych FABDEM - Forest And Buildings removed Copernicus DEM) oraz (iv) interpolowane dane klimatyczne: roczna suma opadów i średnia temperatura (dane WorldClim), dla której wynik przewidywań materii organicznej oznaczany był jako OM_{sat}. Uśrednioną zawartość OM dla 10 równolicznych przedziałów zakresu zmienności wybranych wskaźników użyto jako zmiennych wejściowych do modelu uczenia maszynowego regresji grzbietowej Ridge. Analiza zależności pomiędzy zawartością materii organicznej OM i wymienionymi zmiennymi objaśniającymi wykazała, że zgodnie z oczekiwaniami poziom OM wzrastał wraz ze wzrostem wartości NDVI zarówno dla czerwca jak i sierpnia, malał ze wzrostem nachylenia terenu (wpływ wysokiego poziomu wody gruntowej na terenach płaskich, rósł wraz ze spadkiem rejestrowanego odbicia radarowego VH), spadał wraz ze wzrostem średniej temperatury powietrza (wraz ze wzrostem temperatury rośnie tempo mineralizacji glebowej materii organicznej) oraz posiadał maksimum dla rocznej sumy opadów równej około 600 mm.

Komponent 2 - wykorzystujący dane z numerycznego modelu wysokości terenu o rozdzielczości 5 m, dla którego wynik przewidywań materii organicznej oznaczany był jako OM_{dem}. Działanie komponentu obejmowało: (i) analizę mapy glebowo-rolniczej, (ii) danych pozyskanych z prac terenowych i laboratoryjnych oraz (iii) wyznaczonych różnic wysokości od najniższego punktu w zakładanej odległości dla numerycznego modelu terenu. Modelowanie prowadzone było dla konturów mapy glebowo-rolniczej, dla których występowało prawdopodobieństwo występowania gleb o wysokiej zawartości materii

organicznej, czyli dla konturów gleb organicznych wraz z najbliższym sąsiedztwem, ze szczególnym uwzględnieniem czarnych ziem, mad i gleb glejowych.

Proces optymalizacji komponentu 2 modelu składał się z 5 etapów:

- Selekcji konturu (p1), odczytu jego ogólnej charakterystyki (typ gleby, poziomy z mapy glebowo – rolniczej);
- Odczytu sąsiedztwa dla konturu oraz ogólnych charakterystyk sąsiadujących konturów;
- Doboru profili odpowiadających charakterystykom konturu p1 oraz sąsiadującym, (dobór odbywał się dla każdej badanej głębokości);
- Tworzenia lokalnego modelu dla konturu oraz określonego buforu na podstawie wybranych punktów;
- Obliczenia zawartości materii organicznej oraz wag dla konturu oraz najbliższego sąsiedztwa (wagi określają zależność przypisania wartości dla nakładających się obszarów buforowanych).

Oba komponenty modelu (komponent 1 oraz 2), opracowano z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego a następnie połączono stosując średnią ważoną z wagami dobranymi tak, aby zminimalizować błąd modelu (RMSE - pierwiastek błędu średniokwadratowego, *ang. Root Mean Squared Error*). Przewidywaną zawartość materii organicznej w określonej lokalizacji wyliczano ze wzoru:

$$OM\% = (1 - a) * OM_{sat} + a * OM_{dem}$$

Niezależnie od głębokości w profilu większy wkład w przewidywania zawartości materii organicznej uzyskiwano ze strony komponentu 2 wykorzystującego szczegółowe dane wysokościowe, przy czym przewaga tego komponentu była większa dla warstw płytkich (dla 0-30 cm: $a=0.8$) niż głębszych (dla 30-40 cm: $a=0.7$ i dla warstw 40-100 cm: $a=0.6$).

Końcowy model pozwala przewidywać zawartość OM na wybranym przedziale głębokości, dlatego możliwa była również analiza miąższości warstwy organicznej o określonej zawartości OM. Fakt ten umożliwiał zastosowania modelu do symulacji różnych wariantów kryteriów kwalifikacji użytków rolnych do GAEC 2.

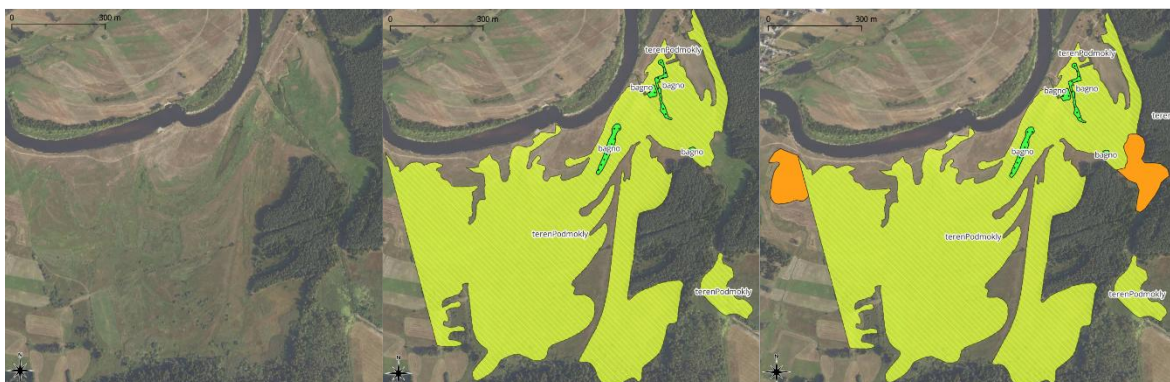
Opracowanie warstwy przestrzennego rozmieszczenia obszarów podmokłych do wykorzystania przy kwalifikacji działek ewidencyjnych do wyznaczenia obszarów objętych normą GAEC 2

Aby w pełni odnieść się do założeń normy GAEC 2 oraz z uwagi na rolę obszarów podmokłych, prace skupiały się również na wyznaczeniu gruntów mokradeł nietorfowych do ich objęcia normą.

W pierwszej fazie prac przetestowano aktualny stan gleb oznaczonych na mapie glebowo-rolniczej jako gleby glejowe. Gleby glejowe tworzyły się pod wpływem silnego uwilgotnienia, w wyniku, którego zachodził tzw. proces glejowy charakteryzujący się biochemiczną redukcją

pierwiastków w warunkach ograniczonego dostępu tlenu, jednak informacja ta wymagała weryfikacji pod względem aktualnego oddziaływania wód. Stworzona została warstwa gleb glejowych nadmiernie uwilgotnionych, jednak jak wykazały analizy z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych i innych danych przestrzennych zdecydowana większość gleb glejowych nie wykazuje obecnie nadmiernego uwilgotnienia, tak aby traktować je jako mokradła nietorfowe przy kwalifikacji do GAEC2.

Do wyznaczenia terenów podmokłych podlegających ochronie w ramach normy GAEC 2 wykorzystano bazę BDOT10k z zasobów GUGiK, która zawiera informację o położeniu mokradeł i terenów podmokłych. Warstwy wchodzące w skład geobazy BDOT10k (skala 1:10 000) stanowią reprezentację obiektów terenowych, zarówno jeśli chodzi o topologię (dane wektorowe), jak i o charakterystykę obiektów (baza danych). Baza danych podzielona jest na warstwy – każda z nich jest swoista dla danego obiektu topograficznego. Warstwy te w niektórych przypadkach nie są aktualne (w jednym z analizowanych terenów testowych dane pochodziły z 2014 roku). Z tego względu, w celu wyznaczenia właściwych obszarów podmokłych na obszarach testowych, niezbędna była weryfikacja obszaru poprzez przeprowadzenie ponownej fotointerpretacji i wektoryzacji tych obszarów. Przygotowane dane dla obszarów badawczych wskazywały jednak, że baza danych BDOT10k w zadowalającym stopniu odzwierciedla aktualne powierzchnie obszarów podmokłych (Rys. 2). W związku z tym obiekty oznaczone w bazie BDOT10k jako tereny podmokłe i bagna uznano za właściwe do wytworzenia przestrzennej warstwy mokradeł nietorfowych na cele wyznaczenia obszarów do objęcia ochroną w ramach normy GAEC 2. Taka warstwa (mapa) została następnie wytworzona. Ochroną objęte zostały wszystkie obiekty opisane w bazie BDOT10k jako mokradła i tereny podmokłe, przy czym część terenów podmokłych została włączona w ramach modelu kwalifikacji gleb organicznych.



Rysunek 2. Weryfikacja zasięgów terenów podmokłych na podstawie danych BDOT10k oraz ortofotomapy

Integracja warstw gleb bogatych w węgiel i terenów podmokłych na użytkach rolnych oraz końcowa optymalizacja mapy obszarów objętych ochroną w ramach normy GAEC 2

W wyniku negocjacji z Komisją Europejską ustalono, że normę GAEC 2 w Polsce definiuje kryterium zawartości materii organicznej na poziomie co najmniej 40% w warstwie o miąższości co najmniej 40 cm występującej w profilu gleby w zakresie głębokości 0 - 100 cm. Wariant ten jest zgodny z definicją gleb organicznych (Histosol) stosowanej w Światowej Bazie Referencyjnej Zasobów Glebowych (ang. World Reference Base for Soil Resources). Zapewnia również, że do obszarów GAEC 2 kwalifikowane są grunty rolne najbardziej cenne pod względem ochrony zasobów węgla, co realizuje cel normy, ale też zapewnia utrzymanie naturalnych funkcji tych obszarów jako magazynów wody.

Po przyjęciu kryteriów kwalifikacji gleb zasobnych w węgiel do normy GAEC 2, tzn. „co najmniej 40% zawartości materii organicznej oraz co najmniej 40 cm miąższości takiej warstwy” przygotowane zostały warstwy geoprzestrzenne gruntów spełniających te kryteria. Dane w postaci warstw zostały przekazane do ARiMR w celu ich właściwej implementacji do baz danych i aplikacji eWniosekPlus.

Przygotowania map dla ARiMR polegały głównie na korektach błędów topologicznych warstw gleb organicznych oraz obszarów podmokłych i ich konwersji do najbardziej użytecznego formatu dla ARiMR. Warstwy wymagały doczyszczania w zakresie występowania obszarów o wysokiej zawartości materii organicznej pod względem użytkowania terenu oraz tworzenia spójnych obszarów.

Pierwszy etap czyszczenia polegał na wykluczeniu z mapy obszarów bogatych w OM na obszarach terenów zabudowanych i dużych lasów. Użytkowanie terenu zawierające wspomniane elementy zostało pobrane z warstw BDOT 1:10k oraz OpenStreetMaps. W usuwanych z mapy terenach zabudowanych uwzględniono grunty bezpośrednio powiązane z obszarami mieszkalnymi, terenami przemysłowymi, handlowymi, szerokie pasy drogowe i kolejowe. Nie usuwano natomiast otoczenia takich elementów jak pojedyncze budynki, wąskie drogi, rzeki czy małe lasy o niewielkiej powierzchni czy bardzo małej szerokości do kilkunastu metrów.

Drugi etap dopracowywania warstwy polegał na tworzeniu spójnych obszarów. Problemy ciągłości konturów wynikają z procesu modelowania warstwy i wyboru progu zawartości materii organicznej do kwalifikacji. Występujące obok siebie piksele mapy o określonej zawartości OM mogą nie tworzyć spójnej całości np. sąsiadujące ze sobą piksele o zawartości 39%, 41%, 35%, 44% przy progu kwalifikacji na poziomie 40% OM zostałyby zakwalifikowane na mapie jako GAEC 2 na przemian. Każdy z etapów czyszczenia mógł ponownie tworzyć niepożądane artefakty, dlatego cały proces był wieloetapowy i składał się między innymi z:

- usuwania niewielkich (150m²) konturów gleb organicznych,
- usuwania konturów podłużnych o niewielkiej szerokości (10 m),
- wypełniania niewielkich obszarów nieorganicznych znajdujących się wewnątrz konturów reprezentujących zakwalifikowane grunty,

- ujednolicania obszarów na podstawie sąsiedztwa, czyli występowania w okolicy dużej ilości pikseli spełniających kryteria lub ich niespełniających. Proces ten wykorzystywał tzw. „ruchome okno”, w którym zliczana była średnia liczba pikseli spełniających kryteria kwalifikacji.

Przykładowy efekt finalnego czyszczenia warstwy przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Przykład optymalizacji warstwy gleb organicznych, po lewej warstwa nieoczyszczona, po prawej oczyszczona.

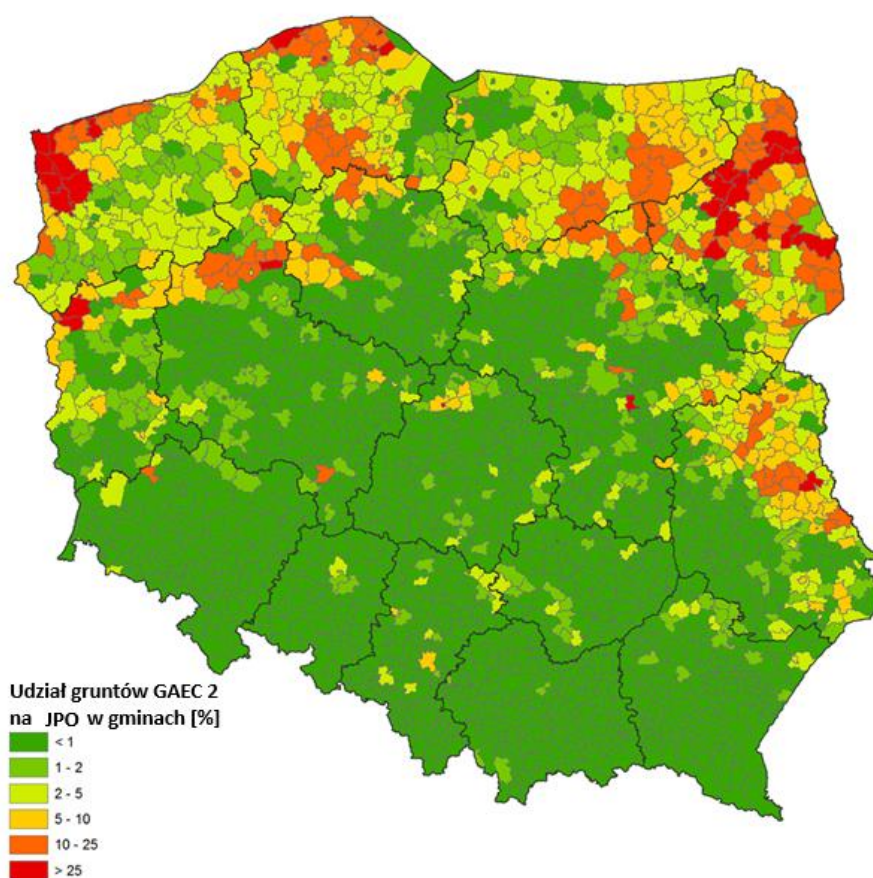
Ostatnim etapem przygotowania warstw gleb organicznych była konwersja warstwy rastrowej na wektorową, wymaganą przez systemy ARiMR, oraz wygładzenie pikselowych krawędzi konturów (Rys. 4).



Rysunek 4. Przykład wygładzania warstwy wektorowej, po lewej po konwersji rastra na wektor, po prawej wygładzony wektor.

Wizualizacja wyznaczonej warstwy GAEC 2 dostępna jest na stronie: <https://gaec2.iung.pl/>

Na rysunku 5 przedstawiono procentowy udział użytków rolnych spełniających kryteria normy GAEC 2 w odniesieniu do gmin w Polsce.



Rysunek 5. Mapa udziału gleb zasobnych w węgiel i obszarów podmokłych na użytkach rolnych w poszczególnych gminach, liczonych dla JPO stan z dnia 12.08.2024 r.