

# Zasoby węgla w glebie Polski – metody monitoringu –

Jacek Niedźwiecki, Sylwia Pindral, Bożena Smreczak, Magdalena Łysiak  
Zakład Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów, IUNG-PIB

Warsztaty on-line organizowane w ramach realizacji Dotacji Celowej IUNG-PIB 2023, Zadanie nr 2.4  
„Analiza wybranych instrumentów WPR pod kątem potencjału redukcji emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza”,  
finansowanej przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

23 października 2023





## Główne cele prowadzenia monitoringu zasobów węgla organicznego:

1. Wytworzenie na bazie informacji z mapy glebowo-rolniczej i danych monitoringowych, aktualizowanych warstw numerycznych, dotyczących zasobów węgla w glebach użytkowanych rolniczo, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb wsparcia wdrażania praktyk rolnictwa węglowego oraz szacowania wpływu użytkowania gruntów na zasoby węgla w glebach użytkowanych rolniczo. Określenie potencjału gleb mineralnych Polski dla możliwości wdrażania rolnictwa węglowego.
2. Opracowanie propozycji uszczegółowienia metod szacowania emisji/pochłaniania CO<sub>2</sub> zakresie możliwości akumulacji węgla w glebach użytkowanych rolniczo.
3. Wypracowanie właściwych rozwiązań i rekomendacji w zakresie ochrony gleb oraz poprawy ich zdrowotności na potrzeby Nowej Dyrektywy PE w sprawie monitorowania i odporności gleby (prawo o monitorowaniu gleby)
4. Doprecyzowaniem metodyki stosowanej aktualnie przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE) do szacowania emisji/pochłaniania CO<sub>2</sub>, w zakresie możliwości akumulacji węgla w glebach użytkowanych rolniczo.

## Dane wejściowe

- Bazy danych  $C_{org}$  [%] pochodzące z rozszerzonego monitoringu gleb do oceny WPR z lat 2018, 2019, 2020, 2021. Monitoring prowadzony jest we współpracy z KSChR i OSChR-y
- Baza danych gęstości objętościowej IUNG-PIB
- Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25000 (gleby mineralne terenów użytkowanych rolniczo)
- Dane klimatyczne z lat 2018, 2019, 2020, 2021 (roczna suma opadów, temperatura maksymalna, temperatura minimalna) (baza danych Terra Climate)
- Dane z pomiarów teledetekcyjnych: NDVI, Soil Water Index, Soil Surface Moisture Index, Gross Dry Matter Productivity (Copernicus Global Land Service)
- Wskaźniki zróżnicowania rzeźby terenu: Nachylenie, Topograficzny Indeks Wilgotności, Topograficzny Indeks Pozycji (cechy morfometryczne rzeźby terenu) – dane LIDAR.

# Metodyka – mapa gęstości objętościowej gleb

GWR – Geographically Weighted Regression (powszechnie używana w analizach przestrzennych (Kumar i in. 2012; Guo i in. 2018; Xu and Shang, 2021) bazująca na Modelach OLS (Fotheringham i in. 2002)

1. Wyznaczenie współczynników regresji ( $\beta$ ) dla zmiennych niezależnych (Fotheringham i in. 2002):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \varepsilon_i$$

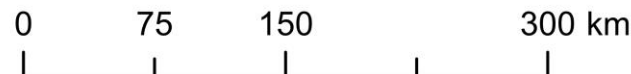
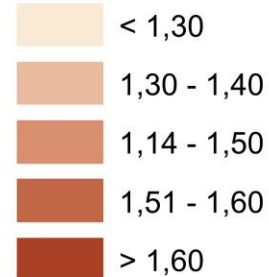
z estymatorem:  $\beta' = (X^T X)^{-1} X^T Y$

2. Wykonanie modelu GWR według następującego wzoru:  $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \varepsilon_i$

Z estymatorem:  $\beta'(i) = (X^T W(i) X)^{-1} X^T W(i) Y$

Gdzie  $W(i)$  jest macierzą wag charakterystyczną dla lokalizacji  $i$ , tak że obserwacjom/pomiaram bliższym  $i$  przypisuje się większą wagę niż obserwacjom dalszym.

Gęstość objętościowa  
[mg\*m<sup>-1</sup>]





# Metodyka – mapa zawartości węgla organicznego

GWR – Geographically Weighted Regression (powszechnie używana w analizach przestrzennych (Kumar i in. 2012; Guo i in. 2018; Xu and Shang, 2021) bazująca na Modelach OLS (Fotheringham i in. 2002)

1. Wyznaczenie współczynników regresji ( $\beta$ ) dla zmiennych niezależnych (Fotheringham i in. 2002):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon_i$$

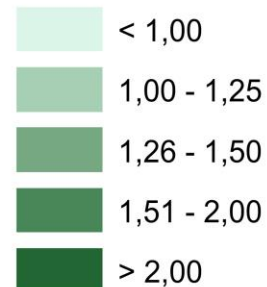
z estymatorem:  $\beta' = (X^T X)^{-1} X^T Y$

2. Wykonanie modelu GWR według następującego wzoru:  $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon_i$

Z estymatorem:  $\beta'(i) = (X^T W(i) X)^{-1} X^T W(i) Y$

Gdzie  $W(i)$  jest macierzą wag charakterystyczną dla lokalizacji  $i$ , tak że obserwacjom/pomiarom bliższym  $i$  przypisuje się większą wagę niż obserwacjom dalszym.

$C_{org}$  [%]





0 75 150 300 km









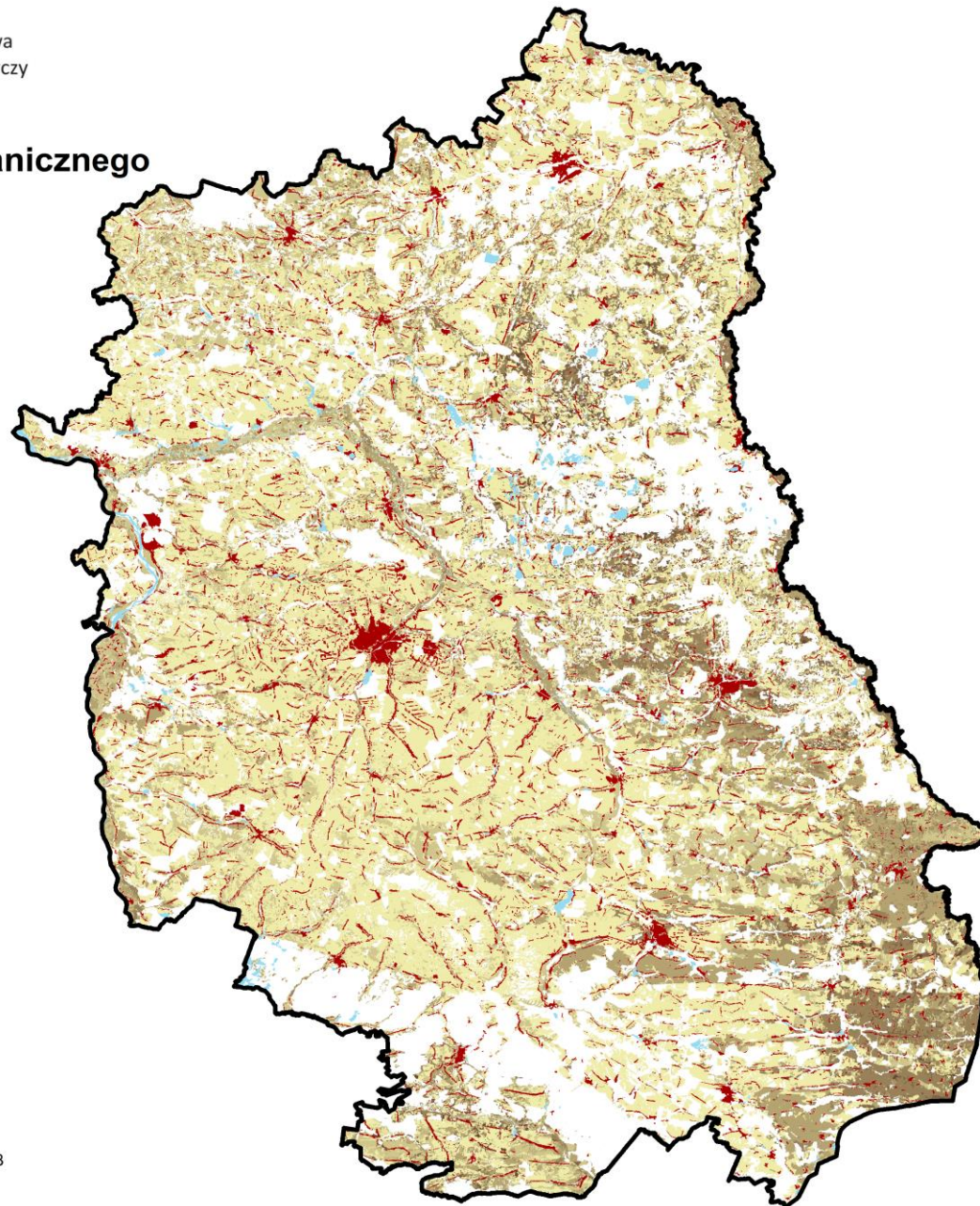


## Mapa zawartości węgla organicznego w glebach mineralnych województwa lubelskiego

-  tereny zabudowane
-  wody powierzchniowe

### Corg [%]

-  < 1,00
-  1,00 - 1,25
-  1,26 - 1,50
-  1,51 - 1,75
-  1,76 - 2,00
-  >2,00

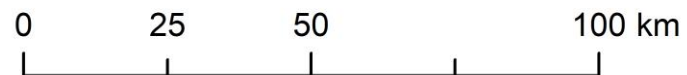


Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów, IUNG-PIB

Autorzy: S.Pindral, J.Niedźwiecki, B.Smreczak

PUWG-1992, EPSG: 2180

Puławy, 2022





## Metodyka obliczenie zasobów węgla organicznego

Zasoby węgla organicznego zostały obliczone zgodnie z przyjętą poniżej metodą (Wiesmeier i in., 2012; Rodríguez Martín i in., 2016; Zeng i in., 2021; Khan and Chiti 2022):

$$TOC_z = TOC \times \rho \times h \times (1 - \varphi_{>2mm}/100)$$

gdzie  $TOC_z$  – zasoby węgla organicznego (t/ha)

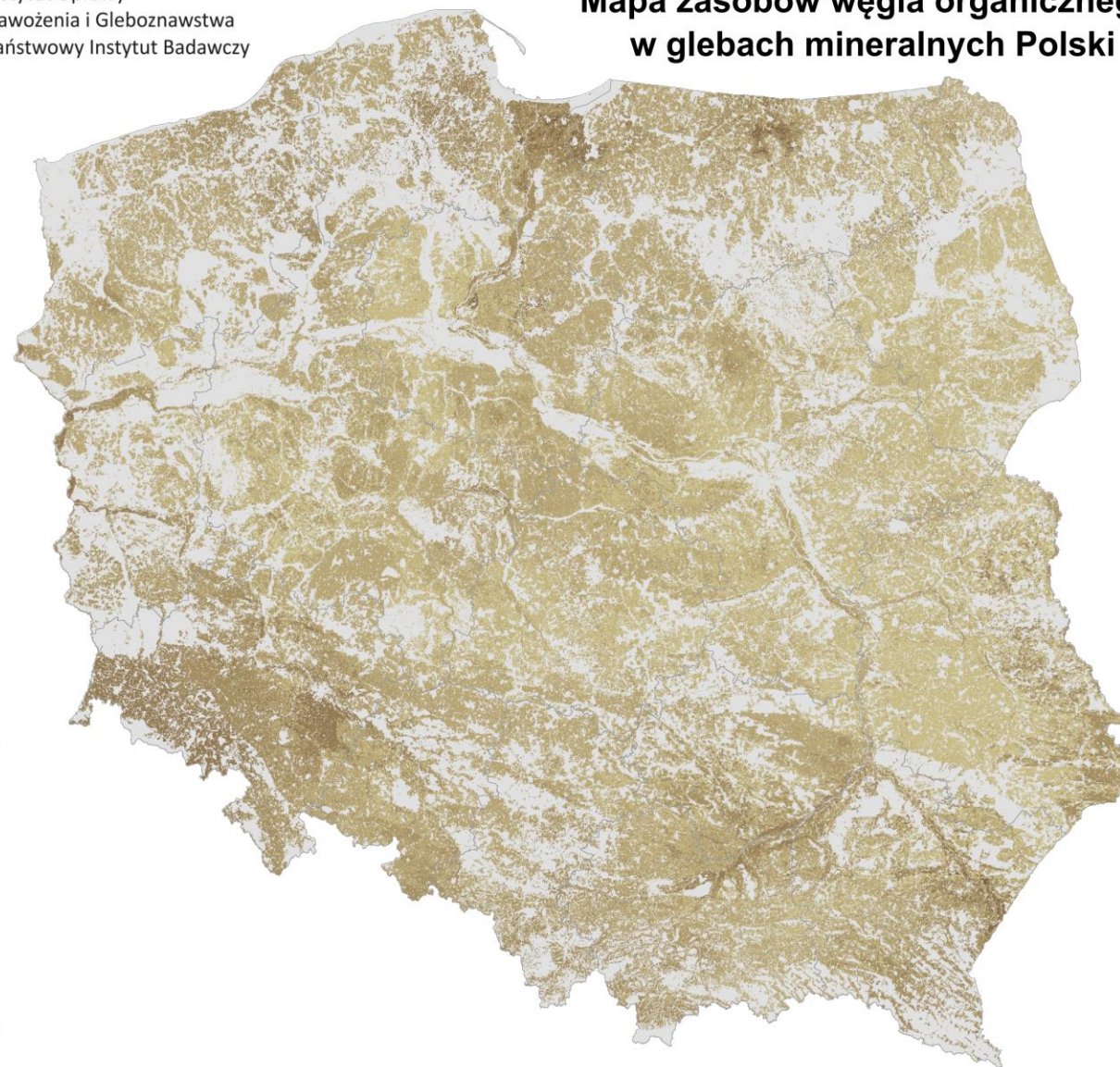
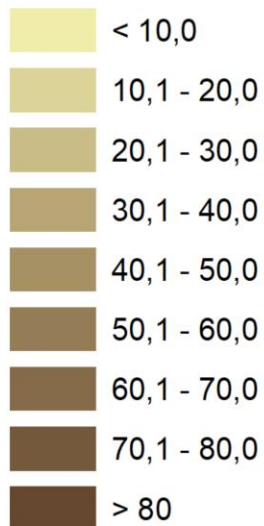
TOC – zmierzona zawartość węgla organicznego w glebie,

$\rho$  – gęstość objętościowa gleb ( $g\ cm^{-3}$ ),

$h$  – miąższość poziomu próchnicznego gleb

$\varphi_{>2mm}$  – zawartość frakcji  $> 2\ mm$  (%).

$C_{stock}$   
[t/ha]



Mapę opracowano w Zakładzie Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów, IUNG-PIB

Autorzy: S. Pindral, B. Smreczak, J. Niedźwiecki, M. Łysiak

Układ współrzędnych: Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992

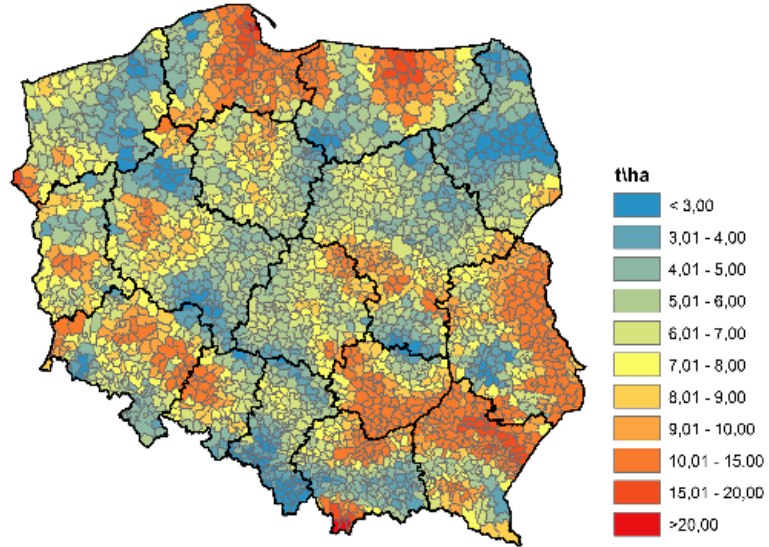
Puławy, 2022

## Zasoby węgla organicznego w glebach mineralnych Polski (stan 2021 rok)

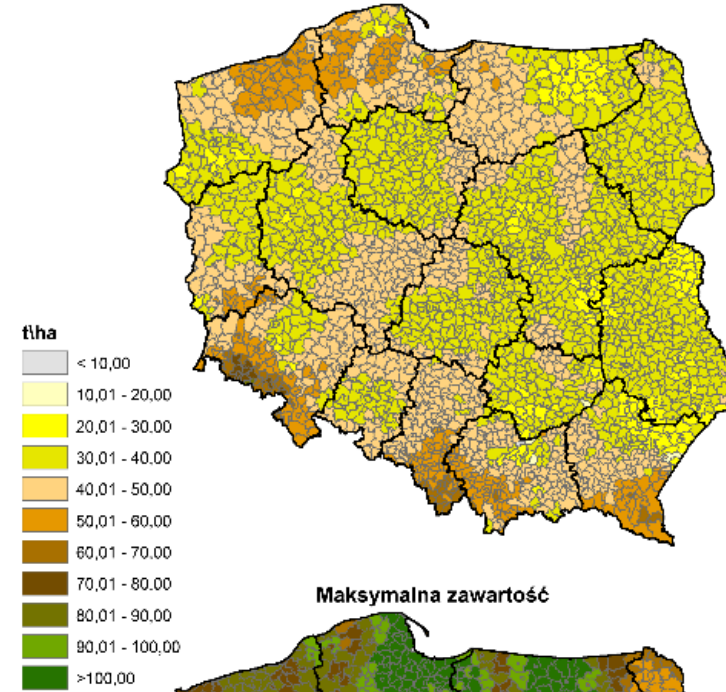
Gleby mineralne w Polsce, znajdujące się w użytkowaniu rolniczym (grunty orne i trwałe użytki zielone) wykazują zróżnicowane wartości zasobów węgla organicznego. Jak wskazują przeprowadzone badania, zasoby węgla zależą w największym stopniu od składu granulometrycznego gleb. Wysokie wartości zasobów (>80 t/ha) występują głównie na glebach ciężkich i bardzo ciężkich (mady ciężkie i cięższe warianty czarnych ziem). Gleby wytworzone z piasków i o uziarnieniu piasków luźnych lub piasków słabo gliniastych (głównie gleby bielcowe i rdzawe) posiadają niskie zasoby węgla w wierzchniej 30-cm warstwie (<30 t/ha)



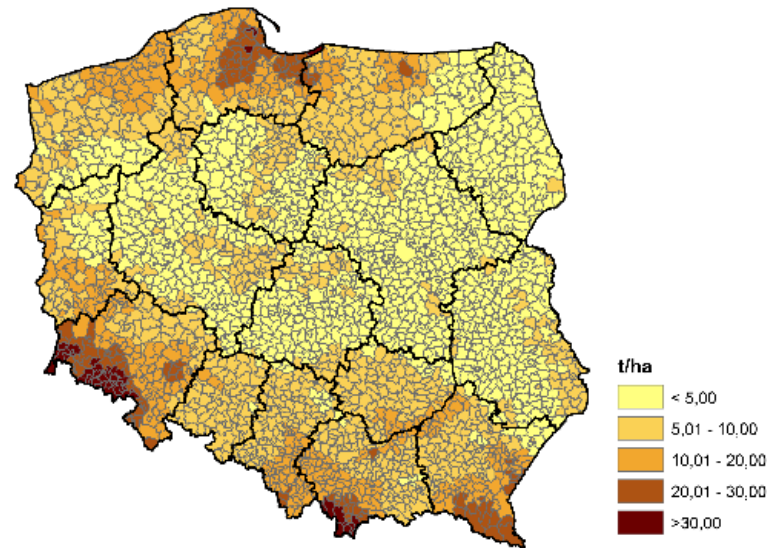
**Odchylenie standardowe**



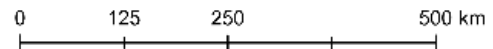
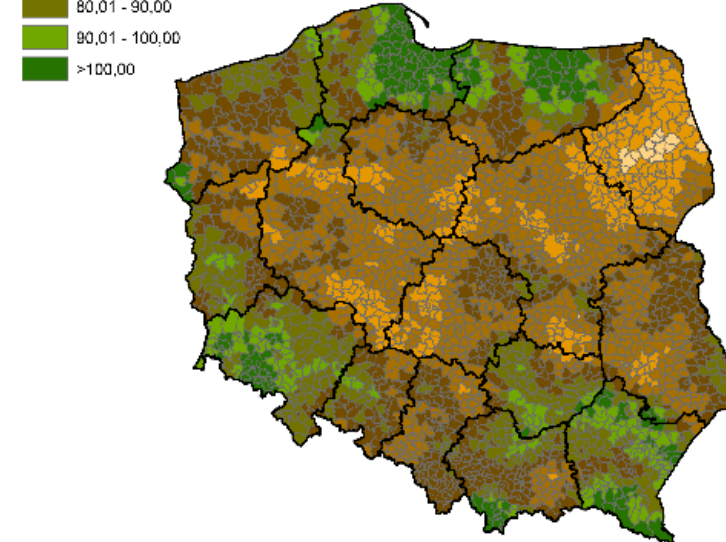
**Minimalna zawartość**



**Średnia zawartość**

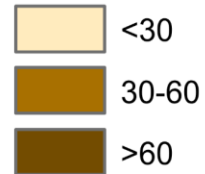


**Maksymalna zawartość**



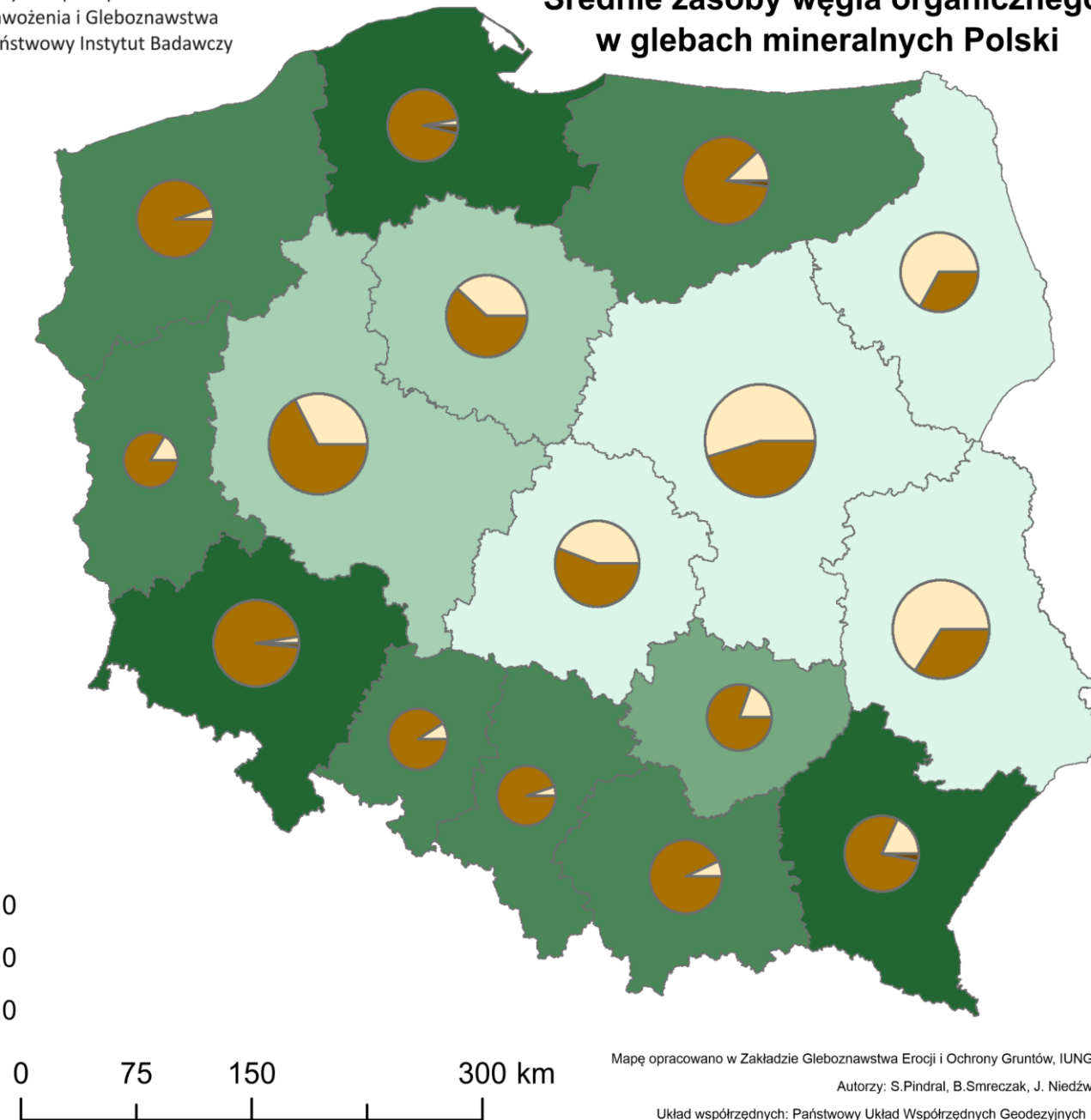
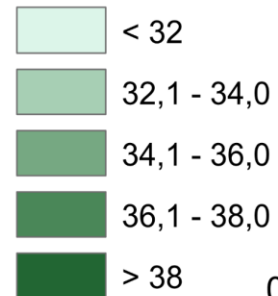
## Średnie zasoby węgla organicznego w glebach mineralnych Polski

$C_{stock}$   
[%]



Średnie  $C_{stock}$

[t/ha]



Mapę opracowano w Zakładzie Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów, IUNG-PIB

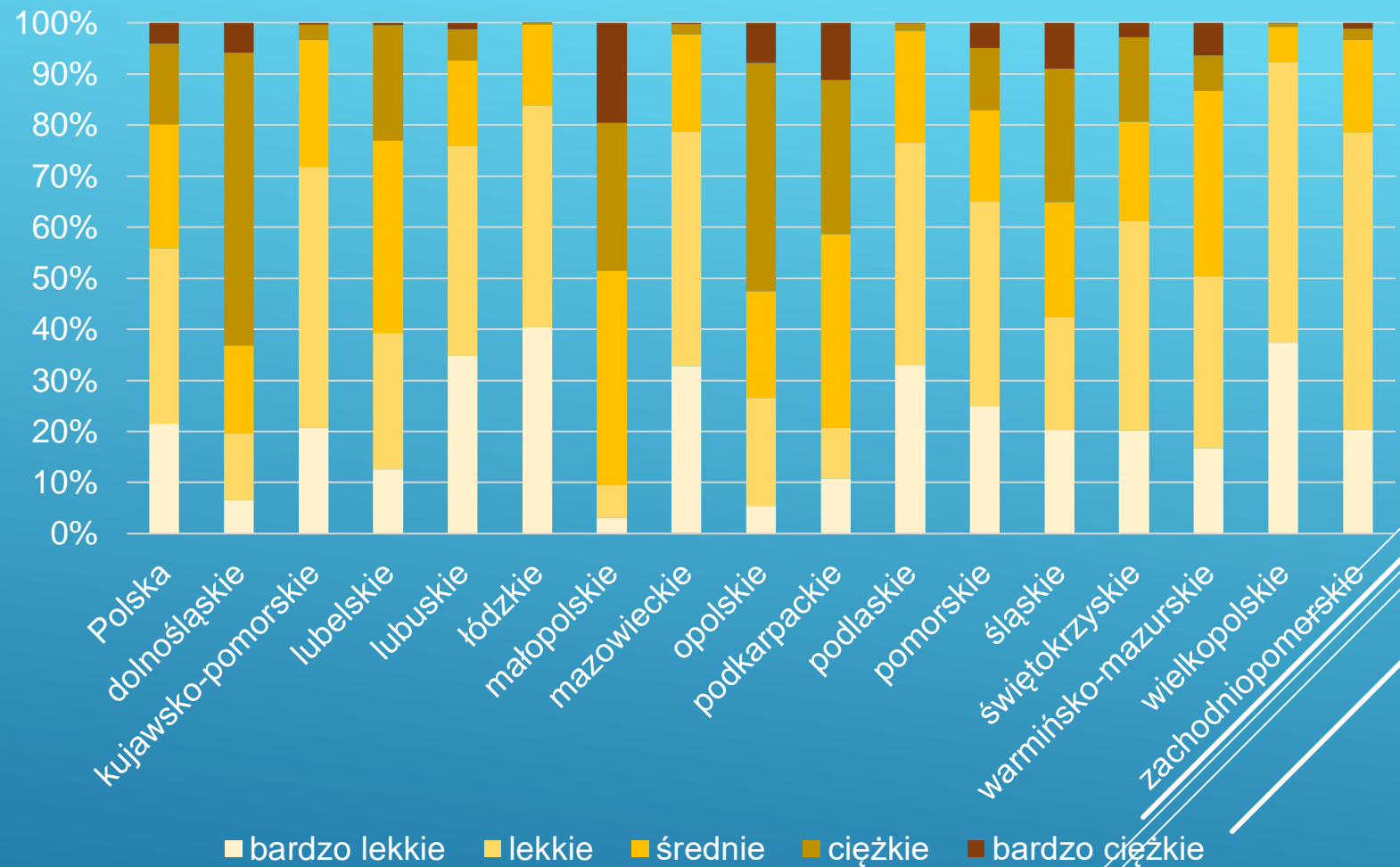
Autorzy: S.Pindral, B.Smreczak, J. Niedźwiecki

Układ współrzędnych: Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992

Puławy, 2022



Cstock [t/ha]	<30	30-60	>60
	% powierzchni		
Polska	29,82	69,47	0,71
dolnośląskie	2,41	96,08	1,51
kujawsko-pomorskie	37,86	61,43	0,71
lubelskie	65,60	34,07	0,34
lubuskie	16,02	83,28	0,70
łódzkie	44,18	55,82	0,00
małopolskie	6,88	93,12	0,00
mazowieckie	54,63	45,37	0,00
opolskie	9,01	90,89	0,10
podkarpackie	18,10	79,00	2,90
podlaskie	66,85	33,08	0,07
pomorskie	2,71	93,80	3,49
śląskie	5,09	94,91	0,00
świętokrzyskie	19,31	80,67	0,02
warmińsko-mazurskie	11,78	86,00	2,22
wielkopolskie	32,64	67,33	0,04
zachodniopomorskie	4,61	95,34	0,05



Ryc. 1. Udział zasobów węgla C [t/ha] w poszczególnych kategoriach agronomicznych gleb w podziale na województwa

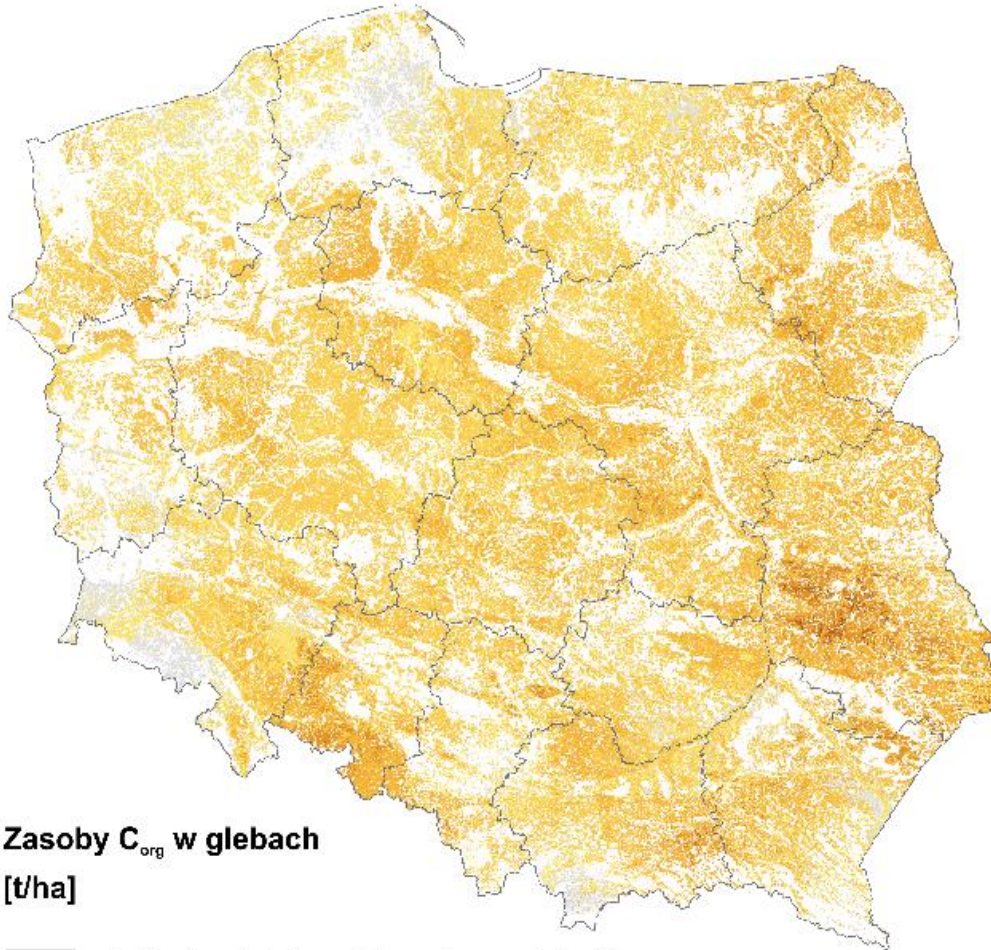
## *Potencjał do zwiększenia zasobów węgla organicznego w glebach mineralnych Polski*

W celu oszacowania potencjału gleb mineralnych do sekwestracji węgla, czy też wzrostu zasobów węgla organicznego, opracowane zostały dwa scenariusze: zrównoważony i maksymalny (maksymalny wzrost zasobów węgla jaki może wystąpić w glebach po zastosowaniu odpowiedniej agrotechniki, nawożenia i ochrony gleb).



Mapy potencjału do zwiększania zasobów węgla  
organicznego w glebach mineralnych użytkowanych rolniczo

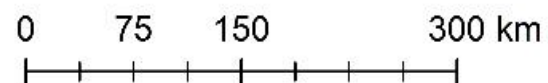
A. Wariant zrównoważony

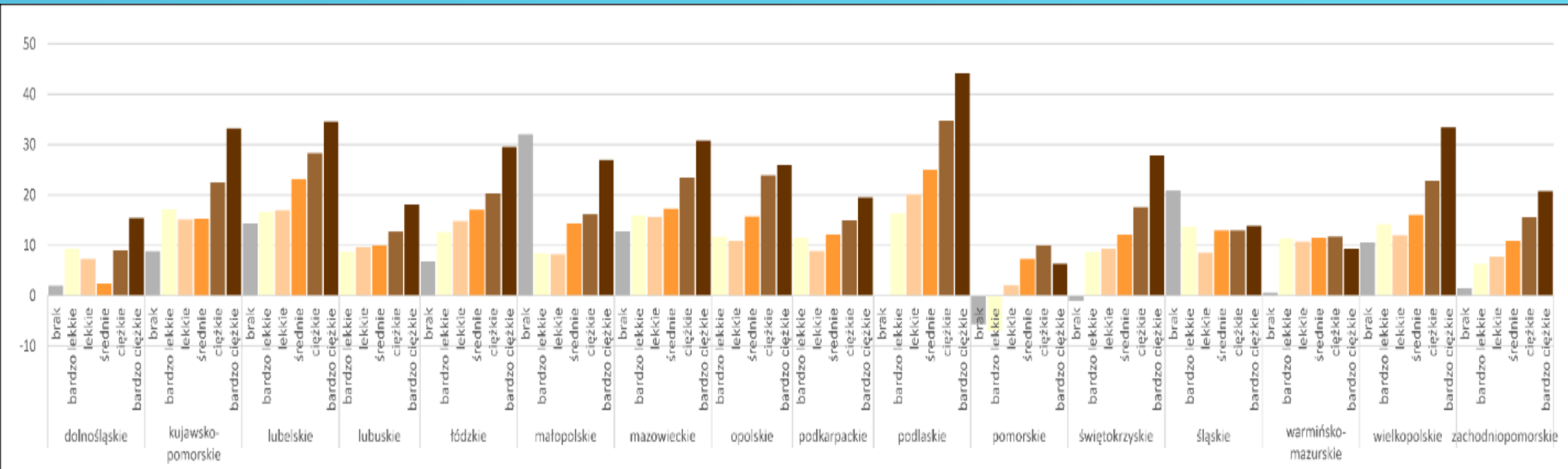


B. Wariant maksymalnego potencjału

Zasoby  $C_{org}$  w glebach  
[t/ha]

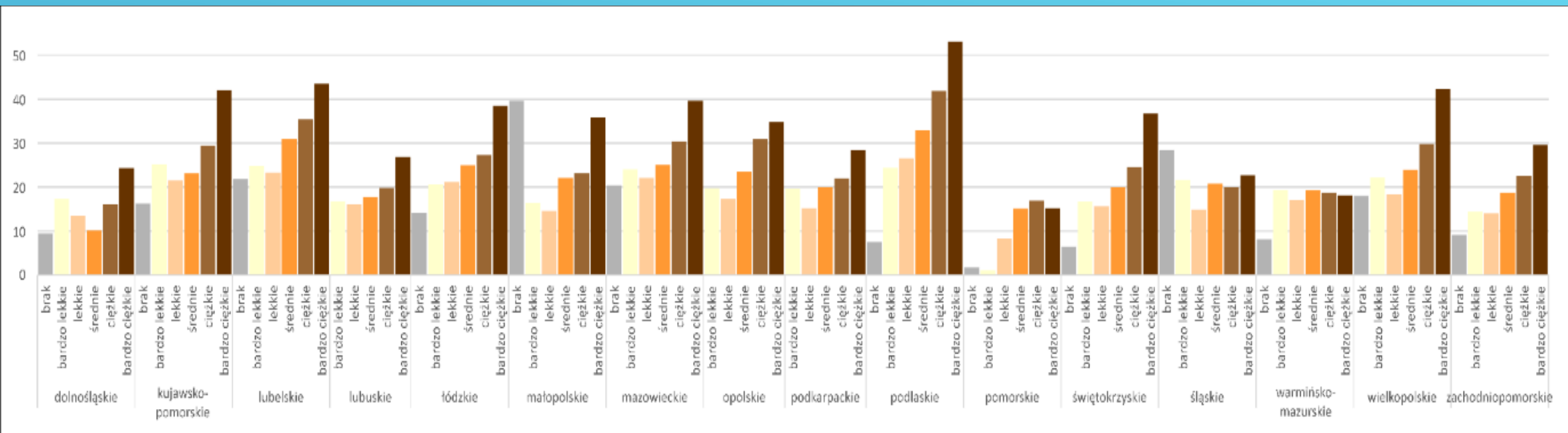
niski potencjał do zwiększania zasobów C





Średnie wartości potencjału zwiększenia zasobów Corg - wariant zrównoważony [t/ha] w podziale na województwa i kategorie agronomiczne





Średnie wartości potencjału zwiększenia zasobów Corg - wariant maksymalny [t/ha] w podziale na województwa i kategorie agronomiczne

Najwyższy wzrost zasobów węgla może nastąpić w województwie lubelskim i potencjał ten spada w województwach zachodniej Polski, gdzie przyjmuje najniższe wartości. Wynikać to może z osiągnięcia wysokich wartości zasobów zbliżonych do maksymalnych możliwości gleb określonych kategorii agronomicznych. Jednakże rozkład wartości we wszystkich województwach jest stosunkowo wysoki i wskazuje na występowanie gruntów, które są zagrożone stratami zasobów Corg, jak i tych, które posiadają możliwości ich zwiększenia



## Wnioski:

1. Według przeprowadzonej analizy zasoby węgla organicznego w glebach mineralnych Polski użytkowanych rolniczo w powierzchniowej warstwie (0–30 cm), zostały oszacowane na średnio 35,11 [t/ha] Corg. Zawartość węgla w roku 2021 w glebach mineralnych w wynosiła średnio 1,71%. Analizy dostępnych danych (IUNG i literaturowych), dotyczących zawartości Corg oraz jego zmian i trendów w ujęciu krajowym bądź regionalnym wskazują na względnie stały poziom Corg w glebach mineralnych, który nie przekracza 2%. Niska zawartość Corg w większości gleb mineralnych wskazuje na potrzebę podjęcia określonych działań i sposobów ich użytkowania sprzyjających wzrostowi zawartości Corg.

2. Ilość zakumulowanego węgla organicznego w glebach jest skorelowana z uziarnieniem i w zależności od kategorii agronomicznej przedstawia się następująco: w glebach bardzo lekkich wynosi przeciętnie 32,17 [t/ha] w glebach lekkich 34,95 [t/ha], średnich 37,32 [t/ha], ciężkich 43,65 [t/ha], bardzo ciężkich 46,72 [t/ha]. Gleby wszystkich klas agronomicznych posiadają zdolność do zwiększania zasobów węgla organicznego. Największy potencjał do zwiększania zasobów Corg, posiadają gleby ciężkie i bardzo ciężkie. Natomiast wraz ze spadkiem udziału frakcji najdrobniejszych uziarnienia, potencjał ten maleje. Jednak ze względu na wysoki procentowy udział tych gleb w Polsce to właśnie w tych glebach najwięcej węgla może zostać zgromadzone. Największe zasoby węgla w glebach posiadają województwa: pomorskie i dolnośląskie. Natomiast najmniejsze zasoby węgla stwierdzono w województwach wielkopolskim, łódzkim, kujawsko-pomorskim, mazowieckim, podlaskim i lubelskim.



3. Największe ryzyko spadku zawartości Corg występuje w glebach naturalnie zasobnych w próchnicę i dotyczy to głównie wybranych powiatów i gmin województw pomorskiego i dolnośląskiego.

4. Zdolności akumulacji węgla w glebach według scenariusza realizującego wykorzystania maksymalnego potencjału zostały oszacowane w [t/ha] na średnio 20,415 w glebach bardzo lekkich, 22,257 średnich, 22,493 ciężkich, 27,099 b. ciężkich, natomiast według scenariusza optymalnego średnio, 12,395 w glebach bardzo lekkich, 14,457 średnich, 15,483 ciężkich, 18,269 b. ciężkich

5. W przypadku średnich wartości możliwości zwiększenia zasobów Corg w glebach różnych kategorii, w większości województw średnie wartości rosną wraz ze wzrostem ciężkości kategorii. Jedynie w przypadku województwa dolnośląskiego, pomorskiego, śląskiego oraz warmińsko-mazurskiego nie jest widoczny wyraźny trend. Wynika to z faktu, że w wymienionych województwach występuje duży udział gleb, które osiągnęły wartości zasobów Corg zbliżone do maksymalnych.

6. Należy podkreślić, że rzeczywiste zasoby węgla w glebach użytkowanych rolniczo zmienią się po uwzględnieniu w analizie gleb organicznych.



## Rekomendacje:

Metodyka przedstawiona w opracowaniu pozwala na wskazanie obszarów o największych potencjalnych możliwościach do zwiększania zawartości węgla organicznego, jednakże w celu porównania z krajami członkowskimi UE badania należy uwzględnić dane o zawartości Corg dla gleb organicznych.

Wskazana przez nas metoda, uwzględniająca przestrzenną zmienność zasobów Corg w Polsce, może stanowić podstawę do szacowania przez KOBIZE zmian emisji/pochłaniania gazów cieplarnianych w zakresie możliwości akumulacji węgla w glebach użytkowanych rolniczo.

**Dziękuję za uwagę**

The image features a solid blue background with a gradient from light to dark. In the bottom right corner, there are several white, parallel diagonal lines of varying lengths, creating a sense of motion or a modern design element.