



# **Wpływ dodatku węgla brunatnego na parametry struktury gleby rozwijającej się z gruntów pogórnich KWB Konin**

*Krzysztof Otremba*  
*Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań*

## **1. Wstęp**

Grunty pogórnice powstałe w wyniku deponowania nadkładu przez KWB Konin uznawane są za nowy ośrodek gruntowy, w którym losowo rozmieszczone są bryły i okruchy skał spoistych (glin zwałowych i ilów poznańskich) oraz piasków. Są to głównie różnoziarniste piaski czwartorzędowe. Jest to układ dynamiczny, który w wyniku czynników biotycznych i abiotycznych ulega zmianom [1]. W toku rekultywacji rolnej poddawany jest on presji narzędzi uprawowych i szaty roślinnej [7]. Szata roślinna oddziałuje nie tylko w sposób fizyczny na grunt, ale również jest źródłem materii organicznej. Przy udziale mikroorganizmów glebowych podlega ona mineralizacji oraz przekształceniu w związki próchniczne. Próchnica glebowa uznawana jest za główny czynnik strukturotwórczy. Zbliżony do próchnicy glebowej skład chemiczny węgla brunatnego [4, 9] był asumptem do zastosowania tego komponentu w rekultywacji gruntów pogórnich KWB Konin [2]. W niniejszej pracy podjęto próbę określenia wpływu węgla brunatnego po 18-stu latach od aplikacji, na niektóre parametry struktury gleby rozwijającej się z materiału macierzystego jakim są grunty pogórnice.

## **2. Materiał i metody**

Badania prowadzone były na polu doświadczalnym Zakładu Rekultywacji Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, założonym na zwałowisku wewnętrznym Pątnów w 1978 roku. Na obiekcie tym od

1978 roku prowadzona jest rekultywacja biologiczna zgodnie z założeniami koncepcji Roślin Docelowych opracowanej pod kierunkiem Bendersa. W badaniach uwzględniono dwie powierzchnie:

Powierzchnia I – kontrolna bez dodatku węgla obejmująca trzy kombinacje nawozowe 100N, 200N, 300N.

Powierzchnia II – na której po 14-stu latach stosowania zabiegów rekultywacyjnych, w 1992 roku zastosowano 1000 Mg ha<sup>-1</sup> pyłu węgla brunatnego – odpadu powstającego przy produkcji brykietów. Po aplikacji pył węgla brunatnego wymieszano z wierzchnią warstwą gleby za pomocą zabiegów agrotechnicznych. Zastosowano cztery kombinacje nawozowe: 0 NPK – bez nawożenia; 100N – 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 80 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; 200N – 200 kg N ha<sup>-1</sup>, 80 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; 300N – 300 kg N ha<sup>-1</sup>, 80 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Na obu powierzchniach uprawiane są zboża ozime, a słoma i inne resztki poźniwne są corocznie przyorywane.

Próbki o naruszonej i nienaruszonej strukturze (próbki objętościowe o V=1 cm<sup>3</sup>) pobierane zostały po żniwach, w sierpniu 2010 roku, a więc po 18 latach od aplikacji, z dwóch głębokości warstwy ornej: 7 i 15 cm. Przed przystąpieniem do pobrania próbek objętościowych, poziom orny profilu glebowego doprowadzono do stanu połowej pojemności wodnej, w celu osiągnięcia pełnej i jednolitej „konsolidacji wodnej” [12]. Po odsączeniu się nadmiaru wody, gleba staje się plastyczna, umożliwiając pobranie próbek o prawidłowym kształcie, zagęszczeniu i wilgotności.

Metodami powszechnie znanymi i stosowanymi w gleboznawstwie [11] oznaczono: skład granulometryczny – metodą areometryczną Prószyńskiego, gęstość fazy stałej – metodą piknometryczną, pojemność higroskopową (H) i maksymalną pojemność higroskopową (MH) – grawimetrycznie dla agregatów o strukturze naturalnej [17].

Badania struktur glebowych realizowano w oparciu o metody opracowane przez Rząśkę, Owczarzaka [15, 16]. Oznaczono następujące parametry:

- dynamiczną wodoodporność agregatów glebowych (DW) – za pomocą analizatora dynamicznej wodoodporności agregatów; oznaczenie polega na pomiarze energii potrzebnej do rozbicia agregatu glebowego o V=1 cm<sup>3</sup> przez uderzenia spadających kropli o masie 0,05 g z wysokości 1 m (energia kinetyczna 1 kropli E = 4,905 J);

- statystyczną wodoodporność agregatów glebowych (SW) – za pomocą urządzenia WSW; pomiar tej cechy sprowadza się do określenia czasu rozpadu („czasu rozmakania”) agregatów zanurzonych w wodzie;
- stan agregacji wtórnej po dynamicznym i statystycznym działaniu wody – oznaczono metodą sitową na mokro, na zestawie sit średnicy oczek: 7, 5, 3, 1, 0,5, 0,25 mm. Sita zanurzano w naczyniu z wodą, gdzie następowała segregacja agregatów na frakcje;
- prędkość kapilarnego podsiąku ( $T_{kmin}$ ) – przeprowadzono w płaskim naczyniu szklanym z podkładką i bibułą filtracyjną, wypełnionym wodą do wysokości podkładu. Pomiar czasu podsiąku rozpoczęto od momentu zetknięcia się agregatu z wodą podsiąkającą, a kończono w momencie całkowitego nawilgocenia górnej powierzchni agregatu;
- kapilarną pojemność wodną minimalną ( $V_{kmin}$ ) i maksymalną ( $V_{kmax}$ ) – określono odpowiednio po podejściu frontu zwilżania do górnej powierzchni agregatu oraz po 2 godz. całkowitego wysycania wodą agregatów;
- wytrzymałość agregatów na ściskanie ( $R_c$ ) – za pomocą zaadoptowanego aparatu wytrzymałościowego LRu-Ts, wykorzystywanego w przemyśle odlewniczym do badania różnych parametrów wytrzymałościowych mas formierskich.

Wymienione wyżej właściwości oznaczono w 5 powtórzeniach losowo wybranych 5 agregatów, dla których – przy każdym oznaczonym parametrze – określono gęstość objętościową w stanie powietrze suchym. W tabelach przedstawiono wartości średnie z tych powtórzeń.

### 3. Wyniki i dyskusja

Skład granulometryczny analizowanych próbek glebowych oznaczono według przyjętej w 2008 roku przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze nowej klasyfikacji uziarnienia [13].

Wyniki analizy zamieszczono w tabeli 1. Zawartość poszczególnych frakcji była zróżnicowana. Frakcja piasku stanowi w tych próbkach od 58% do 73% . We frakcji największy udział mają ziarna o średnicy 0,5–0,25 mm. Zawartość frakcji pyłu w badanym materiale glebowym mieści się od 12% do 29%. Na wyróżnienie zasługuje duża i zróżnicowana ilość ilu koloidalnego (5–16%). Na poletkach z dodatkiem węgla

brunatnego zawartość frakcji iłu koloidalnego jest nieco mniejsza niż na poletkach bez jego dodatku. Duża ilość frakcji iłu koloidalnego jest cechą charakterystyczną dla badanego materiału glebowego [1, 2, 6–8]. Rząsa, Owczarzak [14] podają, że tak duże zawartości frakcji iłu koloidalnego w warstwie ornej gleb uprawnych występują bardzo rzadko.

Należy podkreślić, że zróżnicowanie w obrębie poszczególnych frakcji występuje nie tylko pomiędzy analizowanymi poletkami, ale także między poziomami na jednym poletku, jest to spowodowane, heterogennością tworzywa glebowego i dowodzi polifrakcyjnej struktury ich uziarnienia [8]. Stosowane od ponad 30 lat zabiegi uprawowe, jak wynika z uzyskanych danych, spowodowały tylko częściową homogenizację tego materiału. Jednakże, pomimo wykazanych różnic, jak wynika z danych zawartych w tabeli 1, analizowane próbki należą do dwóch sąsiadujących ze sobą grup granulometrycznych – glin piaszczystych i glin lekkich, przy czym znaczna większość próbek (14 z 16 analizowanych) zaliczona została do grupy glin piaszczystych.

Gleba rozwijająca się z gruntów pogórnicych, na której nie zastosowano dodatku węgla brunatnego (tab. 2) charakteryzowała się wysoką gęstością objętościową ( $1,71\text{--}1,82\text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) i niską porowatością ogólną (27,7 do 36,4%). Jest to cecha charakterystyczna gleb rozwijających się z gruntów pogórnicych [6–8].

Zastosowany w 1992 roku węgiel brunatny, jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2, spowodował rozluźnienie warstwy ornej. Gęstość objętościowa gleby suchej w tym poziomie była o około  $0,4\text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  mniejsza i wahała się od  $1,27\text{--}1,46\text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Efektem zmniejszenia gęstości objętościowej był wzrost porowatości ogólnej do wartości 42%–52,5%. Wzrost porowatości w wartościach bezwzględnych o około 15% oznacza zwiększenie ilości porów o 50% w stosunku do ilości porów w glebie bez dodatku węgla brunatnego. Cechą charakterystyczną poziomu uprawnego gleb rozwijających się ze spoistych gruntów pogórnicych jest zagęszczenie jego górnej części. Jest to spowodowane przede wszystkim obecnością minerałów ilastych (illitu i smektytu) o których donoszą Bender i Waszkowiak [3]. W wyniku zmiennych warunków atmosferycznych i zachodzących na przemian procesów nawilżania i wysychania te minerały ulegają na przemian pęcznieniu i kurczeniu, w skutek czego zachodzi zagęszczenie i zaskorupienie powierzchni gleby. Takie procesy na poletkach, gdzie zastosowano węgiel brunatny były mało widoczne, w przeciwieństwie do poletek bez dodatku węgla.

**Tabela 1.** Skład granulometryczny analizowanych gleb  
**Table 1.** Texture of investigated soils

Po- wierzchnia Area	Kombinacja nawożenia mineralnego Fertilisation treatment	Poziom Depth	Procentowa zawartość frakcji o średnicy (mm) Percentage content of fractions in diameter (mm)							Według PTG 2008 Acc. to PTG 2008
			2,0–0,05				0,05–0,02	0,02–0,002	<0,002	
			2,0–1,0	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,05				
I	100 N	7 cm	16	22	26	3	11	14	8	gp
		15 cm	13	21	25	3	9	15	14	gp
	200 N	7 cm	10	20	32	3	9	12	14	gl
		15 cm	8	16	30	4	13	16	13	gl
	300 N	7 cm	8	20	30	6	10	18	8	gp
		15 cm	10	22	33	8	2	10	15	gp
II	0 N + węgiel	7 cm	11	21	31	4	10	19	5	gp
		15 cm	9	23	33	4	11	9	11	gp
	100 N + węgiel	7 cm	10	21	35	6	7	14	6	gp
		15 cm	10	23	34	4	10	14	6	gp
	200 N + węgiel	7 cm	12	22	33	5	10	14	5	gp
		15 cm	11	23	31	3	8	16	8	gp
	300 N + węgiel	7 cm	10	20	32	4	11	10	12	gp
		15 cm	9	20	32	4	0	15	10	gp

**Tabela 2.** Gęstość i porowatość, wytrzymałość na ściskanie, pojemności wodne i wodoodporność agregatów glebowych

**Table2.** Bulk density and porosity, compressive strength, water capacities and water-resistance of soil aggregates

Powierzchnia Areas	Kombinacja nawożenia mineralnego Fertilisation treatment	Poziom Horizon	Gęstość objętościowa Bulk density $V_0$	Porowatość ogólna Total porosity $P_c$	Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength $R_c$	Wodoodporność Water resistance		Pojemność higroskopowa Higroscopic capacity		Czas podsiąku Time of capillary rise $T_{kmin}$	Kapilarna pojemność wodna Capillary water capacity	
						Dynamiczna Dynamic DW	Statyczna Static SW	H	MH		$V_{kmin}$	$V_{kmax}$
						( $J \cdot 10^{-2}$ )	(s)	(%obj.)	(%obj.)		(s)	(%obj.)
I	100 N	7 cm	1,81	27,7	1,554	8,53	1810	4,27	5,61	212	49,3	55,1
		15 cm	1,71	31,5	1,526	10,50	1721	4,46	5,56	282	55,8	59,4
	200 N	7 cm	1,79	28,4	1,798	7,70	5868	4,90	6,48	284	53,0	61,8
		15 cm	1,71	30,8	1,697	11,53	3376	4,50	6,05	394	50,2	59,7
	300 N	7 cm	1,82	29,0	1,585	6,87	6221	4,86	6,41	216	50,6	66,2
		15 cm	1,79	36,4	1,460	7,80	4098	4,90	6,41	392	52,8	74,8
0 N + węgiel	7 cm	1,32	48,4	0,651	2,60	2383	7,46	11,51	165	72,8	68,0	
	15 cm	1,37	46,8	0,603	2,26	3144	8,08	12,21	122	83,9	84,5	
II	100 N + węgiel	7 cm	1,34	46,4	0,657	2,89	2879	7,49	11,26	201	64,4	61,8
		15 cm	1,35	45,2	0,540	3,29	4563	7,57	12,00	166	65,2	69,5
	200 N + węgiel	7 cm	1,31	50,4	0,698	3,19	2242	7,81	11,88	119	47,4	79,0
		15 cm	1,26	52,5	0,453	2,94	4712	6,94	10,53	116	52,4	62,5
	300 N + węgiel	7 cm	1,46	42,0	0,775	3,87	2756	7,71	11,30	190	62,2	61,5
		15 cm	1,42	44,8	0,746	6,28	3527	6,84	10,01	193	72,8	65,3

Zagęszczenie gleby obok składu granulometrycznego, zawartości materii organicznej i zawartości węglanów wapnia jest czynnikiem determinującym parametry wytrzymałościowe agregatów. Przeprowadzone badania wykazały, że badane agregaty charakteryzują się bardzo zróżnicowaną wytrzymałością na ściskanie. Agregaty pobrane z gleby bez dodatku węgla charakteryzowały się bez mała trzy razy większą wytrzymałością na ściskanie niż agregaty z dodatkiem węgla. Wynosiła ona od 1,460–1,798 MPa w agregatach bez dodatku węgla i 0,453–0,775 MPa w agregatach z dodatkiem węgla. Większą odpornością na ściskanie, jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 2, charakteryzują się agregaty pobrane z głębokości 7 cm od agregatów pobranych z głębokości 15 cm.

Jedną z najważniejszych cech struktury agregatowej jest odporność agregatów na działanie wody. Według Rząsy i Owczarzaka [14] jest ona zależna od czynników zewnętrznych, dostarczających energii oraz od właściwości fizycznych i chemicznych samej gleby. Działanie wody w procesie niszczenia struktury agregatowej gleby może przejawiać się jako działanie dynamiczne (energia kinetyczna spadających kropeł) lub statyczne (rozpad podczas cyklicznych procesów nawilżania i osuszania) [12]. Na poletkach bez dodatku węgla odporność agregatów wynosiła od 6,87 do 11,53 J·10<sup>-2</sup> była zatem od dwóch do pięciokrotnie większa niż na poletkach z dodatkiem węgla (2,26–6,28 J·10<sup>-2</sup>). Zaznaczyć należy, że w wariancie bez dodatku węgla bardziej odporne na dynamiczne oddziaływanie wody były agregaty pobrane z głębokości 15 cm. W wariancie z dodatkiem węgla takie różnice nie wystąpiły.

Rząsa, Owczarzak [14] podają, że statyczne działanie wody przebiega w terenie w znacznie dłuższym okresie czasu niż działanie dynamiczne. Sprzyjają temu warunki panujące w glebie nawet przy dużej porowatości, czyli istnieniu punktów kontaktowych pomiędzy poszczególnymi agregatami. W warunkach laboratoryjnych, w przypadku modelowanych agregatów glebowych, statyczne działanie wody na agregaty przebiega podobnie jak w terenie w dwóch fazach. Pierwsza faza to infiltracja wody w głąb agregatu wywołana gradientem wilgotności. Efekt jej działania zależy od wilgotności agregatu, a także od jego zagęszczenia, które warunkuje liczbę oraz wielkość mezo- i mikroporów. Faza druga, dłuższa, związana jest z powolnym pęcznieniem koloidalnych frakcji mineralno-organicznych. W wyniku tych procesów następuje zwiększenie objętości badanego agregatu i zmniejszenie liczby makroporów, przy czym tak samo jak w przypadku dynamicznej wodoodporności następuje całkowity rozpad pojedynczego agregatu.

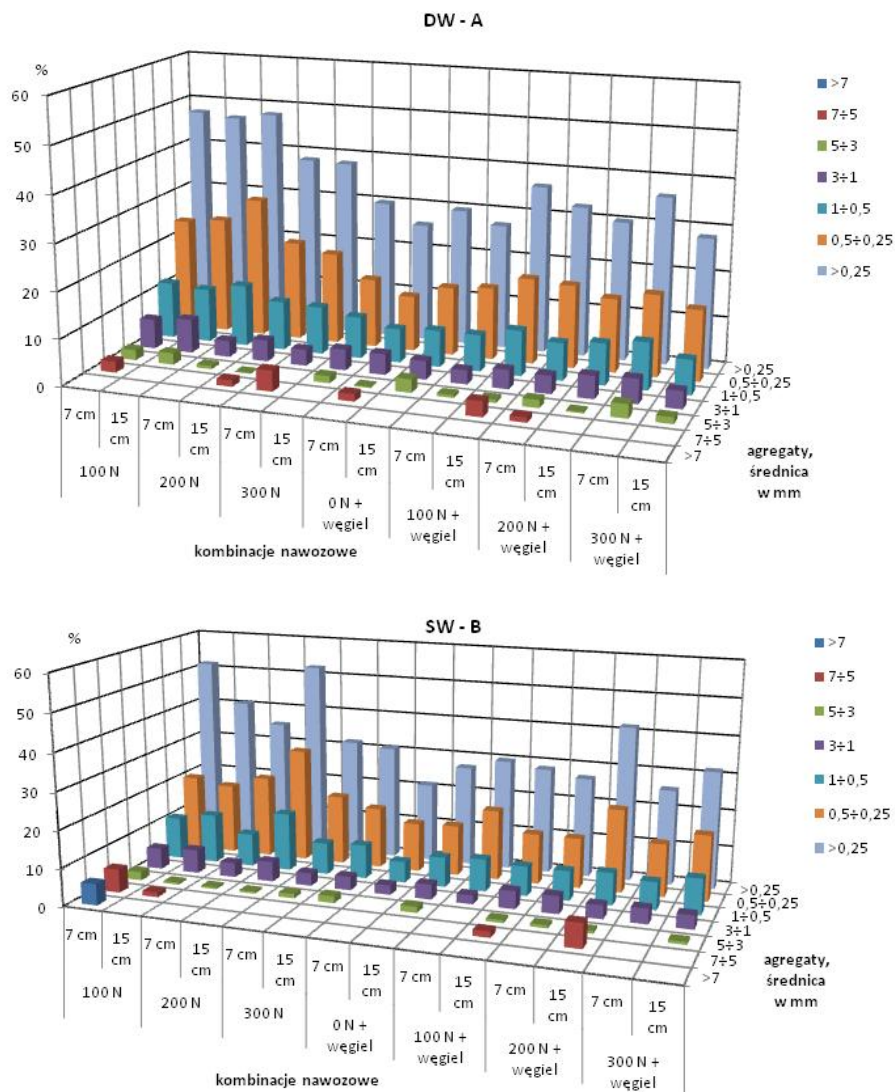
Statyczna wodoodporność agregatów glebowych mierzona czasem ich rozpadu wahała się od 11721 s do 6221 s. Odporność agregatów glebowych pobranych z gleby bez dodatku węgla rosła wraz z ze wzrostem poziomu nawożenia azotowego. Agregaty pobrane z poziomu 7 cm były bardziej odporne na statyczne działanie wody niż agregaty z głębokości 15cm. Na kombinacjach 200N i 300N różnica wynosiła ponad 50%.

Agregaty pobrane z gleby z dodatkiem węgla brunatnego charakteryzowały się statyczną wodoodpornością w zakresie od 2 383 s do 4 563 s. W tym przypadku niezauważalny jest wpływ poziomu nawożenia azotowego na tę cechę. Występuje natomiast zależność odwrotna dotycząca wpływu głębokości pobrania agregatu na statyczną wodoodporność. Agregaty pobrane z poziomu 15 cm były bardziej wodoodporne niż te z 7 cm. Moim zdaniem przyczynę należy upatrywać w tym, że węgiel brunatny w agregatach pobranych z głębokości 7 cm był bardziej narażony na działanie wysokiej temperatury przez co nabralł cech hydrofobowych i nie pochłaniał wody. Części mineralne agregatu ulegając pęcznieniu odspoiły się od węgla i agregat uległ destrukcji.

Strukturotwórcze zdolności gleby charakteryzuje również rozpad agregatów pierwotnych na wtórne tzw. agregację wtórną. Przeprowadzone badania wykazały, że stopień rozpadu analizowanych agregatów pierwotnych mierzony tzw. sumą agregatów wtórnych (mezoagregatów) o wymiarach  $>0,25$  mm jest bardzo zróżnicowany zarówno dla dynamicznego jak i statycznego działania wody. Przy dynamicznym działaniu wody (rys. 1) zawartość mezoagregatów waha się od 29,9 do 47,9% w wariancie bez dodatku węgla brunatnego oraz od 25,7 do 36,6% w wariancie z dodatkiem węgla. Statyczne działanie wody spowodowało powstanie wtórnych mezoagregatów w ilościach od 30,9 do 52,4% w wariancie bez dodatku węgla i od 21,4 do 41,7% w wariancie z węglem. Zawartość wtórnych agregatów o średnicach:  $>7$  mm, 7–5 mm, 5–3 mm, 3–1 mm na obu powierzchniach jest zbliżona. Mniejsza ilość agregatów o średnicy 1–0,5 mm i 0,5–0,25 mm w przypadku dodatku węgla wskazują, że obecność tego komponentu pogarsza wtórną agregację.

Dodatek węgla spowodował wzrost higroskopowej i maksymalnej higroskopowej pojemności wodnej (tab. 2). Pojemność higroskopowa agregatów z dodatkiem węgla brunatnego jest o około 50%, a maksymalna pojemność higroskopowa aż o 100% większa niż agregatów bez dodatku węgla.





**Rys. 1.** Agregacja wtórna: A – po dynamicznym działaniu wody, B – po statycznym działaniu wody

**Fig. 1.** Secondary aggregation: A – after dynamic water action, B – after static water action

Prędkość przemieszczania się wody w agregatach oraz ich kapilarna pojemność wodna są bardzo ważnymi parametrami kształtującymi właściwości wodne gleb. Dodatek węgla brunatnego, jak wskazują przeprowadzone badania, wpłynął również na przyspieszenie przemieszczania się wody w agregacie. Czas przemieszczania się wody w agregacie z dodatkiem węgla brunatnego był o około trzy razy mniejszy niż w agregatach bez tego dodatku.

Minimalna kapilarna pojemność wodna agregatów glebowych reprezentujących powierzchnię I kształtowała się od 49,3 do 55,8% a maksymalna od 55,1 do 74,8%. Minimalna i maksymalna kapilarna pojemność wodna była znacznie większa u agregatów pobranych z powierzchni II (tab. 2). Podkreślić należy, że w przypadku tych agregatów, w większości, minimalna pojemność wodna była większa niż maksymalna, czyli ta którą określano po 2 godzinach. Na obecnym etapie badań tę zależność trudno jest wytłumaczyć.

Badania prowadzone nad strukturą gleb rozwijających się z gruntów pogórnich [5, 6, 7, 8] wskazują, że struktura tego materiału glebowego ulega stopniowej poprawie. Badania Kołodziej i in. [10] wskazują na korzystny wpływ węgla brunatnego na strukturę tych gleb.

Przeprowadzone badania wykazały, że skutki dodatku węgla zauważalne są nawet po 18 latach od aplikacji. Na cechy takie jak: pojemność higroskopowa i maksymalna pojemność higroskopowa, statyczna i dynamiczna wodoodporność agregatów glebowych, wtórna agregacja po statycznym i dynamicznym działaniu wody, węgiel brunatny wpłynął niekorzystnie. Poprawił natomiast gęstość objętościową i porowatość ogólną, kapilarną minimalną i maksymalną pojemność wodną oraz prędkość przemieszczania się wody w agregacie.

#### **4. Wnioski**

1. Skutki dodatku węgla okazały się trwałe i zauważalne są nawet po 18 latach od aplikacji. Dodatek węgla spowodował rozluźnienie mas ziemnych w poziomie ornym. Przyczynia się również do tego, że gleby te można łatwiej i szybciej uprawić.
2. Wyniki dotyczące wodoodporności agregatów glebowych, wytrzymałości agregatów na ściskanie i agregację wtórną po statycznym i dynamicznym działaniu wody wskazują, że szczególnie w okresach o małej sumie opadów te gleby podatne są na nadmierne rozpylenie.

3. Dodatek węgla, w świetle badań dotyczących H i MH oraz kapilarnej pojemności wodnej, powoduje zwiększenie możliwości retencji wodnej gleby, jednak jest to w większości woda trudno dostępna dla roślin.

## Literatura

1. **Bender J.:** *Rekultywacja terenów pogórnich w Polsce*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 418, 75–86 (1995).
2. **Bender J., Gilewska M.:** *The influence of organic-mineral fertilizer on productivity of dump soils and low class bonitation*. Roczn. AR w Poznaniu, 310, Melior. Inż. Środ. 20, cz. II, 113–123 (1999).
3. **Bender J., Waszkowiak M.:** *Wiązanie jonu amonowego przez utwory nadkładu kopalni węgla brunatnego "Konin"*. Arch. Ochr. Środ., 1-2, 125–133 (1989).
4. **Bereśniewicz A., Nowosielski O.:** *Wykorzystanie węgla brunatnego w agrotechnice i rekultywacji*. Górnictwo odkrywkowe, 33, 5–6 (1991).
5. **Gilewska M.:** *Wpływ zabiegów rekultywacyjnych na kształtowanie agregatowej struktury gruntów pogórnich*. Zesz. Probl. Podst. Nauk Roln., z. 418, 703–707 (1995).
6. **Gilewska M., Otremba K.:** *Struktura gleb rozwijających się z gruntów pogórnich*. Roczn. AR Pozn. CCCLVII, 61–69 (2004).
7. **Gilewska M., Otremba K.:** *Wpływ paszowego systemu użytkowania na właściwości fizyczne gleb rozwijających się z gruntów pogórnich*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 163–169 (2008).
8. **Gilewska M., Otremba K., Owczarzak W.:** *Wpływ dodatku węgla mineralnego na cechy struktury gleby rozwijającej się ze spoistych materiałów pogórnich*. Roczn. Gleb. 62, 2, 115–123 (2011).
9. **Kalembasa S., Tengler S.:** *Wykorzystanie węgla brunatnego w nawożeniu i ochronie środowiska*. Monografie Akad. Podl., Siedlce, 52, 1–175 (2004).
10. **Kołodziej B., Gilewska M., Otremba K., Słowińska-Jurkiewicz A.:** *Wpływ dodatku węgla mineralnego i węgla brunatnego na strukturę gleby rozwijającej się z gruntów pogórnich*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 535, 235–241 (2009).
11. **Mocek A., Drzymała S.:** *Geneza analiza i klasyfikacja gleb Polski*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, ss. 416. 2011.
12. **Owczarzak W.:** *Struktura gleb mineralnych Polski – Badania modelowe*. Poznań Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, ss. 183. 2002.
13. **Polskie Towarzystwo Gleboznawcze** *Klasyfikacja uziarnienia gleb i gruntów mineralnych*, PTG 2008, Roczn. Gleb., 60, 2, 5–16 (2009).

14. **Rząsa S., Owczarzak W.:** *Struktura gleb mineralnych*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, ss. 394. 2004.
15. **Rząsa S., Owczarzak W.:** *Modelling of soil structure and examination methods of water resistance, capillary rise and mechanical strength of soil aggregates*. Ann. Pozn. Agric. Univ. Sci. Diss., ss. 35. 1983.
16. **Rząsa S., Owczarzak W.:** *Maximum compaction and maximum loosening – methods of investigation and interpretation of results*. Roczn. A. R. Pozn. Rozp. Nauk., 202, 1–20 (1990).
17. **Rząsa S., Owczarzak W., Spsychalski W.:** *Methodological advances used (MH) in soils different structure*. Int. Agrophys., 7, 213–220 (1994).

## **Effect of Addition of Brown Coal on the Structure of Soils Developing from Post-Mining Grounds of Konin Brown Coal Mine**

### **Abstract**

Soil structure is widely accepted as one of the most important attributes affecting its physical properties and soil humus is commonly considered as one of the most important structure-forming factors. Chemical composition of brown coal similar to that of soil humus was a premise which prompted the application of this component for soil restoration. In 1992, an experiment was established in which brown coal dust in the amount of 1000 t ha<sup>-1</sup> was applied. The experiment with brown coal comprised four combinations of mineral fertilisation: 0 NPK – without mineral fertilisation, 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 200 kg N ha<sup>-1</sup> and 300 kg N ha<sup>-1</sup>. Levels of fertilisation with phosphorus and potassium on all plots with mineral fertilisation were as follows: 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> and 80 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. The control included plots without brown coal supplementation and three fertilisation combinations: 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 200 kg N ha<sup>-1</sup> and 300 kg N ha<sup>-1</sup> as well as potassium-phosphorus fertilisation in the amount of 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> and 80 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. In both variants winter cereals were cultivated and straw as well as post-harvest residues were ploughed under every year. Investigations of soil structures were carried out on the basis of published original methodological solutions elaborated by Rząsa and Owczarzak in which an aggregate measuring 1 cm<sup>3</sup> is the basis of investigations. The following parameters were determined: dynamic water resistance of soil aggregates (DW), static water resistance of soil aggregates (SW), state of secondary aggregation after dynamic and static action of water, velocity of capillary seepage (T<sub>kmin</sub>), minimal (V<sub>kmin</sub>) and maximal (V<sub>kmax</sub>) capillary water capacity, aggregate compression resistance (Rc). The above-mentioned values were determined in 5 replications. Using methods

commonly known and applied in soil science, texture composition, solid state density, hygroscopic capacity (H) and maximal hygroscopic capacity (MH) were also determined.

The analysed samples belonged to two neighbouring texture groups - sandy loams and light loams. It is evident from the performed investigations that the application of brown coal resulted in loosening of the arable soil layer. The observed increase of porosity in absolute values by approximately 15% means increase in pore numbers of about 50% in relation to the numbers of pores in the soil without brown coal supplementation. The aggregates collected from the soil without the addition of brown coal were characterised by the resistance ranging from 1.460 to 1.798 MPa. It was almost three times greater than that of aggregates with brown coal addition (0.453–0.775 MPa). The addition of coal reduced from two to five times the resistance to dynamic water action. The degree of breakdown of the analysed primary aggregates measured by the so called sum of secondary aggregates (mezo-aggregates) measuring  $>0.25$  mm varied widely both for dynamic and static water action. The addition of brown coal worsened soil secondary aggregation. This also contributed to the increase of hygroscopic and maximal hygroscopic water capacity. The hygroscopic capacity of aggregates with the addition of brown coal was by about 50% and of maximal hygroscopic capacity – by about 100% greater in comparison with those without the addition of brown coal. Moreover, the addition of brown coal also accelerated water transfer in aggregates. Water translocation time in aggregates without the addition of brown coal was by about three times higher. Minimal capillary water capacity of soil aggregates collected from the variants without brown coal supplementation ranged from 49.3 to 55.8%, and maximal capillary water capacity – from 55.1 to 74.8%. Minimal and maximal capillary water capacity was considerably greater in aggregates collected from variants supplemented with brown coal and amounted to: from 47.4 to 83.9% and from 61.8 to 84.5%, respectively. The performed investigations revealed that the addition of brown coal loosened bulk soil in the arable soil level leading to its improved susceptibility to the action of cultivation tools. However, during periods of low total precipitation, these soils are sensitive to excessive sputtering. This was confirmed by the results associated with water resistance of soil aggregates, resistance of aggregates to compression as well as secondary aggregation following static and dynamic water action. The addition of brown coal increased possibilities of water retention but majority of this water was not easily accessible to plants as indicated by the research results concerning H and MH as well as capillary water capacity.