

**Stanisław Krysiak\*, Wojciech Tołoczko\*, Arkadiusz Niewiadomski\***

**RESPIRACJA CO<sub>2</sub> W GLEBACH EKOSYSTEMÓW POŁOWYCH  
WYTWORZONYCH ZE SKAŁ MACIERZYSTYCH RÓŻNEGO  
POCHODZENIA**

**CO<sub>2</sub> RESPIRATION IN SOILS OF FIELD ECOSYSTEMS FORMED FROM  
DIFFERENT ORIGIN PARENT MATERIAL**

**Słowa kluczowe:** respiracja gleb, CO<sub>2</sub>, skała macierzysta, właściwości gleb.

**Key words:** soil respiration, CO<sub>2</sub>, parent rock, soil properties.

*Research was taken out in the area of Wielkopole on soils formed from outcropped cretaceous sandstones and alluvial material of the Pilica river valley. Main aim of the studies was the emission of CO<sub>2</sub> from soils which was measured by the chamber CO<sub>2</sub> separation method. Different chemical and physical properties under the cause of their influence on CO<sub>2</sub> emissions were measured. Obtained results presents the statistical dependences between the CO<sub>2</sub> emission values to other measured properties like soil porosity, soil reaction, acidity and sum of exchangeable cations.*

## **1. WPROWADZENIE**

Skała macierzysta wpływa na wiele właściwości gleby, determinując jej uziarnienie, skład mineralny, a także wartość użytkową [Cieśla 1961; Uziak i in. 2005]. Wpływa ona także na żyzność gleb przez określenie zasobności w składniki pokarmowe i wodę, czyli składniki zaspokajające życiowe potrzeby roślin. W glebie rozwijają się korzenie roślin oraz liczne mikroorganizmy. Działalność mikrobioty glebowej oraz oddychanie korzeniowe wywołują zjawisko respiracji gleb [Koizumi i in. 1991, Raich, Schlesinger 1992]. Mechanizm wymiany gazowej między glebą i atmosferą jest już w znacznej mierze poznany [Harrison i in. 1995; Kramer 1981; Rastogi i in. 2002], a głównymi czynnikami

---

\* *Dr Stanisław Krysiak, dr Wojciech Tołoczko, dr Arkadiusz Niewiadomski – Katedra Geografii Fizycznej, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; kontakt: tel. 42 665 59 30; e-mail: krysiak@uni.lodz.pl; e-mail: glebozn@uni.lodz.pl; e-mail: arek\_niew@interia.pl*

modyfikującymi go mogą być warunki lokalne, wpływające na zmienność pokrywy glebowej i siedlisk.

Celem niniejszej pracy było określenie jak zmienność gleb, uwarunkowana charakterem skały macierzystej, może wpłynąć na wielkość respiracji glebowej.

## 2. OBIEKTY I METODY BADAŃ

Obszar badań stanowiły okolice wsi Wielkopole, znajdujące się w granicach mezo-regionu Wzgórz Radomszczańskich (342.11) [Kondracki 2002]. Teren ten jest wyjątkowo zróżnicowany pod względem geomorfologii; litologii, wilgotności i gleb [Krysiak 1997, 1999, Krysiak, Tołoczko 2004]. Do szczegółowych badań wytypowano 6 profili glebowych, wytworzonych z różnych skał macierzystych, reprezentujących litologiczne zróżnicowanie obszaru. Badane gleby były użytkowane ornie.

W pobranych próbkach gleb oznaczono: skład granulometryczny – metodą Bouyoucosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, pH – potencjometrycznie w wodzie oraz 1 mol·dm<sup>-3</sup> roztworze KCl, zawartość węgla organicznego metodą – Tiurina, zawartość azotu ogólnego – metodą Kjeldahla, kwasowość hydrolityczną (*Hh*) i sumę kationów zasadowych (*S*) – metodami Kappena, a następnie wyliczono: całkowitą pojemność wymienną kationów (*PWK*) oraz stopień wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym (*V*).

Próbki gleb do analiz właściwości fizycznych pobrano za pomocą cylinderków Kopecy'ego o objętości 100 cm<sup>3</sup>. Oznaczono: gęstość właściwą (*S<sub>v</sub>*), gęstość objętościową rzeczywistą i chwilową (*S<sub>2<sub>rz</sub></sub>* i *S<sub>2<sub>ch</sub></sub>*) oraz porowatość ogólną (*P<sub>og</sub>*).

Koncentrację CO<sub>2</sub> wydzielanego z gleby mierzono w ostatnim tygodniu sierpnia 2008 r., gdy temperatura w ciągu dnia sięgała 24°C, a nocą nie spadała poniżej 12°C, w warunkach braku opadów i umiarkowanego zachmurzenia. Pomiary prowadzono przez 48 godzin w cyklach 12-godzinnych (w godzinach od 7–8 do 19–20 oraz od 19–20 do 7–8, w układzie 12 godzin w dzień, 12 godzin w nocy) oraz równolegle w cyklu 24-godzinnym. Pomiary prowadzono w 4–5 powtórzeniach, których wyniki następnie uśredniono, metodą komorową [Bednarek i in. 2004] w modyfikacji W, Tołoczki i E. Niewiadomskiego [w tym tomie] wykorzystując reakcję Wardera [Turowska, Deka 1993].

Związki korelacyjne między respiracją CO<sub>2</sub> a właściwościami gleb określono wykorzystując współczynnik korelacji rangowej Spearmana przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ .

## 3. WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Najstarszymi utworami na powierzchni badanego obszaru są górnourajskie wapień, wapień margliste, ility oraz iłowce kimerydu i portlandu [Kutek 1961], które występują tuż pod powierzchnią serią plejstoceńskich piasków i pyłów pokrywowych. Różnorod-

ność skał macierzystych uwidoczniła się w poszczególnych poziomach genetycznych, nadając im charakterystyczne cechy (tab. 1).

**Tabela 1.** Skład granulometryczny, pH i właściwości sorpcyjne badanych gleb

**Table 1.** Granulometric composition, pH and sorptive properties of examined soils

Profil	Poziom genetyczny	Miąższość poziomu [cm]	Skład granulometryczny [mm]			pH w H <sub>2</sub> O	pH w 1M KCl	<i>Hh</i>	<i>S</i>	<i>PWK</i>	<i>V</i> [%]
			2,0–0,05	0,05–0,002	<0,002						
1	Ap	0–33	82	18	0	7,5	7,1	0,2	11,6	11,8	98
	Bbrox	33–60	79	8	13	8,0	7,2	0,2	12,2	12,4	98
	Ccagg	<60	1	54	45	7,9	7,3	0,2	22,6	22,8	99
2	Ap	0–20	94	6	0	4,5	3,4	1,7	2,5	4,2	59
	C	20–68	92	8	0	4,9	4,0	0,8	1,2	2,0	60
	Cre1	68–90	90	10	0	4,9	4,1	0,8	1,1	1,9	58
	Cre2	68–90	64	29	7	5,6	4,1	0,7	4,2	4,9	86
		<90	5	28	67	7,0	5,8	0,6	15,6	16,2	96
3	Ap	0–20	56	30	14	7,5	6,8	0,2	18,0	18,2	99
	ABbrca	20–40	54	21	25	7,7	6,9	0,2	20,9	21,1	99
		40–90	47	36	17	7,7	6,9	0,2	12,8	13,0	98
	Bbrca	40–90	50	34	16	8,1	7,0	0,2	17,4	17,6	99
	Cca	<90	45	24	31	7,5	7,0	0,2	21,2	21,4	99
		<90	47	25	28	7,9	7,0	0,2	18,0	18,2	99
4	Ap	0–33	80	18	2	6,9	6,5	0,3	9,6	9,9	97
	C	33–60	88	12	0	7,4	6,9	0,2	2,8	3,0	93
	Cox	60–80	96	4	0	7,4	7,4	0,2	2,0	2,2	91
	G	<80	64	20	16	7,3	6,3	0,2	8,5	8,7	98
5	Ap	0–15	85	14	1	5,7	5,0	1,3	3,5	4,8	73
	C	15–60	85	14	1	6,6	4,3	0,6	1,5	2,1	71
	Coxgg	<60	88	11	1	6,6	4,3	0,5	1,6	2,1	76
		<60	100	0	0	7,4	4,8	0,4	1,4	1,8	78
6	Ap	0–30	92	8	0	4,9	3,8	1,4	2,2	2,6	61
	Bhfeox	30–50	75	24	1	5,8	4,6	1,8	8,5	10,3	82
	G	<50	69	27	4	5,9	4,9	0,7	11,3	12,0	94

**Objaśnienia:** *Hh* – kwasowość hydrolityczna, *S* – suma kationów zasadowych, *PWK* – całkowita pojemność wymienna kationów, *V* – stopień wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym.

Profil 1 – to czarna ziemia zbrunatniała, wytworzona z czwartorzędowych piasków gliniastych peryglacialnych na górnojurajskich wapieniach marglistych, na której okresowo, po roztopach, występowały znaczące ilości wody. W profilu 2 – gleby deluwialnej – serie iltowców Cre2 były przykryte 20–25 cm poziomem zwietrzałych piaskowców Cre1, gdyż profil ten był zlokalizowany o ok. 20 m od lokalnej kulminacji zbudowanej z piaskowców albu i cenomanu. Ciągła erozja górujących nad terenem badań wychodni piaskowców spowodowała, że opisywany profil jest słabo wykształcony. Profile 3 i 4 zostały wytworzone z utworów glacialnych. Profil 3 zakwalifikowano jako pararzędzinę brunatną, profil 4 natomiast – jako glebę gruntowo-glejową. Pararzędzina była w całości wytworzona z odrzańskich glin zwalowych i w całej miąższości zawierała różnej wielkości odłamki górnokredowych wapieni. W profilu 4 warstwy glacialne były przykryte plejstocenijskimi piaskami pokrywowymi. Ge-

netycznie najmłodsze były mady rzeczne, użytkowane jako pola orne (profile 5 i 6), których odkrywki zlokalizowano w osadach aluwialnych w dolinie Pilicy – odpowiednio na terasie nadzalewowej (profil 5) i na terasie zalewowej (profil 6).

Właściwości chemiczne badanych gleb są w dużej mierze pochodną ich różnego pochodzenia, co uwidoczniło się dobrze zwłaszcza w wartościach pH. Najstarsze osady, zwierzęce iłowce, wpłynęły na odczyn czarnej ziemi w profilu 1 (pH 7–8). W profilu 2 seria piaskowców także zdeterminowała wartość pH gleby. W profilach 3 i 4 zanotowano odczyn zasadowy (pH 7–8), a pH mad rzecznych (profile 5 i 6) wynosiło 5–6. Kwaśny i silnie kwaśny odczyn stwierdzono w profilach 5, 6 i 2, zasadowy zaś – w profilach 1, 3 i 4 (tab. 1).

Zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w poziomach próchnicznych nie wyróżniała szczególnie żadnej z badanych gleb (tab. 2). Największą zawartość C<sub>og</sub> stwierdzono w pararendzinie (profil 3), a najmniejszą – w madzie na terasie zalewowej (profil 6).

**Tabela 2.** Właściwości chemiczne i fizyczne badanych gleb

**Table. 2.** Chemical and physical properties of examined soils

Profil	Poziom genetyczny	C <sub>org</sub> [g·kg <sup>-1</sup> ]	N <sub>og</sub> [g·kg <sup>-1</sup> ]	C:N	S <sub>1</sub>	S <sub>2, rz</sub>	S <sub>2, ch</sub>	P <sub>og</sub> [%]
					[Mg·m <sup>-3</sup> ]			
1	Ap	8,69	1,4	6,2	2,58	1,58	1,81	38,8
	Bbrox	–	–	–	2,63	1,90	2,09	27,8
2	Ap	8,27	1,1	7,5	2,63	1,39	1,50	47,3
	C	–	–	–	2,62	1,62	1,75	38,4
3	Ap	13,53	2,0	6,8	2,53	1,45	1,64	42,6
4	Ap	8,63	2,5	3,5	2,58	1,57	1,87	39,2
	C	–	–	–	2,64	1,84	2,06	30,2
5	Ap	8,22	1,1	7,5	2,61	1,49	1,61	42,8
	C	–	–	–	2,65	1,62	1,77	38,9
6	Ap	4,70	1,1	4,3	2,67	1,44	1,66	45,9
	Bhfeox	–	–	–	2,53	0,88	1,40	65,4

**Objaśnienia:** S<sub>1</sub> – gęstość właściwa, S<sub>2, rz</sub> – gęstość objętościowa rzeczywista, S<sub>2, ch</sub> – gęstość objętościowa chwilowa, P<sub>og</sub> – porowatość ogólna, – nie oznaczono.

Wyjaśnienia różnic w uwalnianiu CO<sub>2</sub> z badanych gleb doszukiwano się w powiązaniu jego emisji z właściwościami fizycznymi. W celu wyjaśnienia wpływu tych właściwości na respirację, a właściwie na możliwość uwalniania z gleby CO<sub>2</sub>, wyprodukowanego przez kożnienie roślin i mikrobioty glebowe, zbadano gęstość i porowatość ogólną (P<sub>og</sub>) gleb (tab. 2). Największa była porowatość mady rzecznej terasy zalewowej (profil 6.), a najmniejsza – czarnej ziemi (profil 1).

Na wszystkich badanych glebach większą respirację zanotowano w cyklu nocnym (tab. 3). Jest to związane z brakiem promieniowania słonecznego, koniecznego do procesu fotosyntezy. Najwięcej CO<sub>2</sub> wydzielaly gleby z profili 1 i 3, których intensywne wykorzystanie rolnicze stymuluje aktywność biologiczną, a to przekłada się na zwiększenie respiracji. Najmniej CO<sub>2</sub> uwalnia gleba deluwialna (profil 2) i mady doliny Pilicy (profile 5 i 6).

**Tabela 3.** Wydzielanie CO<sub>2</sub> z badanych gleb**Table 3.** CO<sub>2</sub> emission from the examined soils

Wyszczególnienie		Wydzielanie CO <sub>2</sub> w [g CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> ·doba <sup>-1</sup> ] na stanowisku					
		1	2	3	4	5	6
Noc	próbka 1	5,85	2,11	4,66	3,89	2,64	2,82
	próbka 2	5,96	2,24	5,02	3,87	2,60	2,99
	średnio	5,91 ±0,08	2,18 ±0,09	4,84 ±0,25	3,88 ±0,01	2,62 ±0,03	2,90 ±0,12
Dzień	próbka 1	4,93	1,32	2,75	1,85	1,72	1,58
	próbka 2	4,71	1,32	3,15	1,94	2,00	1,91
	średnio	4,82 ±0,15	1,32 ±0,00	2,95 ±0,28	1,89 ±0,06	1,86 ±0,20	1,75 ±0,23
Doba	próbka 1	8,05	3,04	5,92	5,26	4,27	4,31
	próbka 2	8,01	2,99	5,9	5,19	4,22	4,62
	próbka 3	7,96	3,34	5,98	–	–	4,44
	średnio	8,01 ±0,04	3,15 ±0,19	5,93 ±0,04	5,23 ±0,05	4,25 ±0,03	4,46 ±0,15

**Objaśnienia:** – nie oznaczono.

W badaniach starano się uchwycić wpływ warunków siedliskowych na zdolność oddychania gleby. W celu określenia tego wpływu przeprowadzono analizę zależności między ilością wydzielonego CO<sub>2</sub> a właściwościami substratu glebowego. Wykazano nieliczne, ale istotne statystycznie zależności wydzielania CO<sub>2</sub> od właściwości analizowanych gleb (tab. 4).

Stwierdzono istotną korelację wydzielania CO<sub>2</sub> z zawartością w glebie frakcji pyłowej (0,05–0,002 mm) oraz z wartościami pH analizowanych gleb. Kierunek zależności wskazuje, że wraz ze wzrostem pH rośnie respiracja. Można to wytłumaczyć aktywnością mikroorganizmów w glebie, zwłaszcza bakterii, których liczebność zależy wprost proporcjonalnie od pH. Konsekwencją tego zjawiska była ujemna korelacja z kwasowością hydrolityczną. Wpływ związków zasadowych na wydzielanie CO<sub>2</sub> stwierdzono na podstawie istotnej zależności respiracji dziennej z zasobnością gleb w kationy zasadowe i pojemnością ich wymiany. Wyniki pomiarów wydzielania CO<sub>2</sub> w nocy i przez całą dobę nie potwierdziły tego związku.

Spośród właściwości fizycznych porowatość ogólna wykazała bardzo silną ujemną korelację z respiracją gleb (tab. 4). Uzyskana ujemna wartość współczynnika korelacji jest interesująca. Skłonni jesteśmy uznać, że dzięki dużej porowatości możliwa jest ucieczka gazów innymi drogami, poza obręb komory pomiarowej. Na problem ten zwracają uwagę inni badacze [Janssens i in. 2000, Jensen i in. 1996; Rayment 2000], nie wskazując jednak jego rozwiązania. Powstający CO<sub>2</sub> nie podnosi ciśnienia w komorze, bo ubywa identyczna ilość O<sub>2</sub>, a dodatkowo CO<sub>2</sub> rozpuszcza się w wodnym roztworze NaOH.

Podczas badań terenowych zaobserwowano kondensację pary wodnej, w postaci licznych kropli wody wewnątrz pudełka. Jeżeli większe uwilgotnienie gruntu powoduje zwiększenie stężenia pary wodnej, to może ona utrudniać wymianę gazową, w tym uwalnianie CO<sub>2</sub> z gleby. Można zatem założyć, że wzrost ciśnienia w komorze i duża porowatość gruntu sprzyja ucieczce gazów innymi drogami. Wymaga to jednak dalszych badań w celu potwierdzenia tej tezy.

**Tabela 4.** Wartości współczynników korelacji między wydzielaniem CO<sub>2</sub> i właściwościami gleb  
**Table 4.** Values of correlation coefficients between CO<sub>2</sub> emission and soils properties

Właściwość			Wydzielanie CO <sub>2</sub>		
			noc	dzień	24 h
Zawartość frakcji [mm]	2,0–0,05	<i>rho</i>	-0,77	-0,83	-0,77
		<i>p</i>	0,10	0,06	0,10
	0,05–0,002	<i>rho</i>	<b>0,84*</b>	<b>0,90*</b>	<b>0,84*</b>
		<i>p</i>	0,04	0,01	0,04
	<0,002	<i>rho</i>	0,27	0,39	0,27
		<i>p</i>	0,60	0,44	0,60
pH w H <sub>2</sub> O		<i>rho</i>	<b>0,93*</b>	<b>0,99*</b>	<b>0,93*</b>
		<i>p</i>	0,01	0,00	0,01
pH w 1M KCl		<i>rho</i>	<b>0,94*</b>	<b>1,00*</b>	<b>0,94*</b>
		<i>p</i>	0,02	0,00	0,02
Kwasowość hydrolityczna (Hh)		<i>rho</i>	<b>-0,93*</b>	<b>-0,99*</b>	<b>-0,93*</b>
		<i>p</i>	0,01	0,00	0,01
Suma kationów wymiennych (S)		<i>rho</i>	0,77	<b>0,89*</b>	0,77
		<i>p</i>	0,10	0,03	0,10
Pojemność wymiany kationów (PWK)		<i>rho</i>	0,77	<b>0,89*</b>	0,77
		<i>p</i>	0,10	0,03	0,10
Węgiel organiczny (Corg)		<i>rho</i>	0,71	0,77	0,71
		<i>p</i>	0,14	0,10	0,14
Azot ogólny (Nog)		<i>rho</i>	0,70	0,70	0,70
		<i>p</i>	0,12	0,12	0,12
Gęstość właściwa (S <sub>1</sub> )		<i>rho</i>	-0,72	<b>-0,84*</b>	-0,72
		<i>p</i>	0,10	0,04	0,10
Gęstość objętościowa rzeczywista (S <sub>2rz</sub> )		<i>rho</i>	0,71	0,60	0,71
		<i>p</i>	0,14	0,24	0,14
Gęstość objętościowa chwilowa (S <sub>2ch</sub> )		<i>rho</i>	0,71	0,83	0,71
		<i>p</i>	0,14	0,06	0,14
Porowatość ogólna (Pog)		<i>rho</i>	<b>-0,89*</b>	<b>-0,94*</b>	<b>-0,89*</b>
		<i>p</i>	0,03	0,02	0,03

**Objaśnienia:** \* wyniki istotne statystycznie, *rho* – współczynnik korelacji, *p* – poziom istotności.

#### 4. WNIOSKI

1. Wydzielanie CO<sub>2</sub> z gleby zależy od zmienności fotoperiodycznej. W cyklu dziennym w warunkach dużego promieniowania słonecznego, gdy zachodzi proces fotosyntezy, z powierzchni gleby uwalniane są mniejsze ilości CO<sub>2</sub> niż w cyklu nocnym.
2. Charakterystyczne dla skał macierzystych cechy, jak np. duże wartości pH gleb wytworzonych z utworów kredowych, uziarnienie uzależnione od litologii i budowy geologicznej, potwierdziły się w wynikach badań, a dodatkowo miały wpływ na wielkość wydzielania CO<sub>2</sub> z gleb.
3. Wykorzystanie zmodyfikowanej metody komorowej umożliwiło szybkie pomiary i uzyskanie powtarzalnych wyników w danych warunkach atmosferycznych i siedliskowych.

## PIŚMIENNICTWO

- BEDNAREK R., DZIADOWIEC H., POKOJSKA U., PRUSINKIEWICZ Z. 2004. Badania ekologiczno-gleboznawcze. WN PWN, Warszawa: 344.
- CIEŚLA W. 1961. Właściwości chemiczne czarnych ziem kujawskich na tle środowiska geograficznego. PTPN, Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych, tom 8, z. 4: 1–91.
- HARRISON A. F., HOWARD P. J. A., HOWARD D. M., HOWARD D. C., HORNUNG M. 1995. Carbon storage in forest soils. *Forestry*, vol. 68: 335–348.
- JANSSENS I. A., KOWALSKI A. S., LONGDOZ B., CEULEMANS R. 2000. Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: an in situ comparison of four techniques. *Tree Physiology*, vol. 20: 23–32.
- JENSEN L. S., MUELLER T., TATE K. R., ROSS D. J., MAGID J., NIELSEN N. E. 1996. Soil surface CO<sub>2</sub> flux as an index of soil respiration in situ: A comparison of two chamber methods. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 28 (10–11): 1297–1306.
- KOIZUMI H., NAKADAI T., USAMI Y., SATOH M., SHIYOMI M., OIKAWA T. 1991. Effect of carbon dioxide concentration on microbial respiration in soil. *Ecological Research*, vol. 6: 227–232.
- KONDRACKI J. 2002. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa: 440.
- KRAMER P. J. 1981. Carbon dioxide concentration, photosynthesis and dry matter production. *BioScience*, vol. 31: 29–33.
- KRYSIAK S. 1997. Lithohydrotypy jako pola podstawowe oceny potencjału siedliskowego i form użytkowania ziemi terenów nadpilickich w okolicach Ręczna. *Prace i Studia Geogr.*: 233–254.
- KRYSIAK S. 1999. Typy geokompleksów i kierunki ich użytkowania w środkowej części dorzecza Pilicy. *Acta Geographica Lodziensia* 75: 214.
- KRYSIAK S., TOŁOCZKO W. 2004. Zróżnicowanie krajobrazowe terenów nadpilicznych w okolicach Wielkopola. *Acta Univ. Lodz. Folia Geogr. Phys.* 6: 71–90.
- KUTEK J. 1961. Kimeryd i bonon Stobnicy. *Acta Geol. Polon.* 11 (1): 103–183.
- RAICH J. W., SCHLESINGER W. H. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, vol. 44 (20): 81–99.
- RASTOGI M., SINGH S., PATHAK H. 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science*, vol. 82 (5): 510–517.
- RAYMENT M. B. 2000. Closed chamber systems underestimate soil CO<sub>2</sub> efflux. *European Journal of Soil Science*, vol. 51 (1): 107–110.
- TUROWSKA M., DEKA M. 1993. Laboratorium analizy ilościowej. Wyd. UŁ, Łódź: 160.
- UZIAK S., BROGOWSKI Z., KOMORNICKI T. 2005. Właściwości frakcji granulometrycznych gleb wytworzonych z różnych utworów macierzystych. *Acta Agrophysica* 124, Rozprawy i Monografie 7: 159.