



Mateusz Stasiak, Marek Molenda, Sławomir Nosek
KATALOG WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH BIOMASY SYPKIEJ

Wykonany przez konsorcjum IA PAN i Termall Sp. z o.o. w ramach projektu finansowanego przez NCBIR pod numerem PBSIII/A8/31/2015 w latach 2015-2018.

Tytuł projektu: System oznaczania właściwości i jakości sypkiej biomasy

LUBLIN, LUTY 2018

WSTĘP

Celem projektu było opracowanie katalogu właściwości mechanicznych różnych rodzajów biomasy sypkiej oraz nowej metody wraz ze stanowiskiem pomiarowym do charakteryzowania zachowania się sypkiej biomasy. Parametry do katalogu wyznaczano standardowymi metodami oraz przy pomocy nowo opracowanego stanowiska.

Prace w projekcie wykonywane były przez konsorcjum, w którego skład wchodziły Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie oraz Termall Sp. z.o.o. Rozruch Moce Ekologia.

Tematyka projektu jest odpowiedzią na konkretne zapotrzebowanie zgłaszane przez technologów i projektantów instalacji do magazynowania, transportu i przetwarzania sypkiej biomasy. Wyniki, w postaci dwóch stanowisk pomiarowych właściwości sypkiej biomasy wraz z opracowanymi metodami pomiaru oraz katalogu właściwości sypkiej biomasy, skierowane są do przedsiębiorstw przetwarzających i spalających sypką biomasę oraz do jednostek naukowych i laboratoriów badawczych zajmujących się tego typu materiałami.

MATERIAŁY

Tabela 1. Zdjęcia materiałów eksperymentalnych wraz z ich gęstością nasypową i utręszoną.







Material		Gęstość nasypowa ρ_N [kg/m ³]	Gęstość utręszona ρ_T [kg/m ³]
wióry dębowe (10%)		92,6 ± 4,7	130,7 ± 5,8
wióry sosnowe (10%)		55,9 ± 1,4	68,9 ± 2,4
trociny dębowe (10%)		131,0 ± 5,7	185,4 ± 3,6
trociny sosnowe (10%)		142,8 ± 4,0	202,9 ± 7,0
słoma rzepakowa (10%)		128,5 ± 3,0	185,3 ± 4,6
słoma pszenna (10%)		117,3 ± 4,6	170,8 ± 3,1

Tabela 1 cd. Zdjęcia materiałów eksperymentalnych wraz z ich gęstością nasypową i utrzoną.








Material		Gęstość nasypowa ρ_N [kg/m ³]	Gęstość utrzoną ρ_T [kg/m ³]
pelet słoma 6 mm (10%)		744,1 ± 3,9	835,2 ± 8,9
pelet sosna 6 mm (10%)		732,4 ± 10,4	805,8 ± 3,9
zrębki leśne		266,7 ± 8,0	332,1 ± 9,1
zrębki topolowe		118,2 ± 3,9	170,3 ± 6,2
strużyny		90,4 ± 10,3	142,9 ± 16,2
pelet ze słomy Polaniec		654,7 ± 5,0	731,5 ± 7,0
pelet ze słonecznika Polaniec		708,8 ± 5,6	785,4 ± 2,9

Tabela 1 cd. Zdjęcia materiałów eksperymentalnych wraz z ich gęstością nasypową i utrzęsioną.








Material		Gęstość nasypowa ρ_N [kg/m³]	Gęstość utrzęsiona ρ_T [kg/m³]
zrębki Multon		216,9 ± 3,2	315,1 ± 1,6
zrębki Skalec		267,5 ± 8,8	352,3 ± 6,0
zrębki Arbor		237,15 ± 7,7	263,5 ± 4,5
siano		120,9 ± 1,4	174,9 ± 3,2
pelet z trocin 4 mm		766,3 ± 3,1	894,9 ± 4,3
trociny		158,9 ± 4,8	228,2 ± 7,9
pelet z siana		709,7 ± 2,9	782,2 ± 2,4

Tabela 2. Rozkłady wielkości cząstek badanych materiałów.




Frakcja [mm]	Średnia pozostałość na sitach [%]		
	Trociny sosnowe	Trociny dębowe	Wióry sosnowe
			
> 5,0	0,0	0,0	67,8
3,2 - 5,0	0,0	0,0	8,7
2,0 - 3,2	3,9	27,6	12,5
1,6 - 2,0	2,1	10,5	2,6
1,0 - 1,6	0,4	1,0	0,3
0,9 - 1,0	12,7	27,3	5,6
0,6 - 0,9	9,8	9,4	1,0
0,5 - 0,6	6,4	4,9	0,4
0,4 - 0,5	6,5	5,2	0,3
0,3 - 0,4	13,8	5,4	0,3
0,2 - 0,3	14,0	3,8	0,0
0,1 - 0,2	21,6	3,5	0,0
< 0,1	8,8	1,4	0,5

Tabela 2 cd. Rozkłady wielkości cząstek badanych materiałów.




Frakcja [mm]	Średnia pozostałość na sitach [%]		
	Wióry dębowe	Siano	Słoma pszenna
			
> 5,0	41,6	6,1	0,1
3,2 - 5,0	12,7	0,4	0,2
2,0 - 3,2	23,2	3,4	0,3
1,6 - 2,0	5,6	11,4	1,1
1,0 - 1,6	0,7	0,5	0,3
0,9 - 1,0	11,4	36,5	62,8
0,6 - 0,9	2,4	3,3	5,0
0,5 - 0,6	0,9	9,6	5,8
0,4 - 0,5	0,5	4,5	5,9
0,3 - 0,4	0,4	6,3	6,1
0,2 - 0,3	0,0	6,1	4,3
0,1 - 0,2	0,0	8,2	5,8
< 0,1	0,6	3,7	2,3

Tabela 2 cd. Rozkłady wielkości cząstek badanych materiałów.




Fracja [mm]	Zawartość frakcji [%]		
	Zrębki leśne 	Zrębki topolowe 	Strużyny 
> 70	1,7	7,5	7,5
30 - 70	8,5	12,1	64,5
16 - 30	18,3	36,9	22,2
8 - 16	23,4	28,8	0,9
3 - 8	33,8	9,1	2,5
< 3	14,3	5,6	2,4

Tabela 2 cd. Rozkłady wielkości cząstek badanych materiałów.




Fracja [mm]	Zawartość frakcji [%]		
	Zrębki arbor 	Zrębki multon 	Zrębki skalec 
> 70	4,6	4,5	23,2
30 - 70	57,5	36,1	24,1
16 - 30	16,4	41,7	12,6
8 - 16	10,3	7,1	15,6
3 - 8	9,1	8,5	1,7
< 3	2,1	2,1	22,8

Tabela 2 cd. Rozkłady wielkości cząstek badanych materiałów.






Fracja [mm]	Zawartość frakcji [%]		
	Pelet sosna 6 mm 	Pelet ze słomy 6 mm 	Pelet z trocin 4 mm 
> 30	0,0	32,7	32,7
16 - 30	29,9	44,8	44,8
8 - 16	59,6	9,8	9,8
< 8	10,5	12,7	12,7

Tabela 2 cd. Rozkłady wielkości cząstek badanych materiałów.

Fracja [mm]	Zawartość frakcji [%]	
	Pelet ze słomy Polaniec	Pelet ze słonecznika Polaniec
		
> 30	6,4	0
16 - 30	27,2	25,4
8 - 16	44,4	58,8
< 8	22,0	15,8

STANOWISKO POMIAROWE

Aparat łopatkowy został zastosowany w Laboratorium Mechaniki Materiałów Sypkich IA PAN. Szeroki zakres parametrów eksperymentu stanowiska pomiarowego umożliwia badanie cech sypkiej biomasy dostosowane do wymagań laboratoriów naukowych. Stanowisko jest nowatorskim rozwiązaniem łączącym w sobie koncepcję aparatu łopatkowego z nowym układem zadawania obciążenia oraz pomiar wilgotności czujnikami umieszczonymi w ściankach głównego zbiornika. Dodatkowo, w celu określenia objętości, a stąd gęstości złoża sypkiej biomasy, zastosowano czujniki laserowe. Masa dla określenia gęstości wyznaczana jest trzema czujnikami siły. Pomiar odbywa się w cylindrycznej komorze. W jej dolnej części, na ściankach od strony wewnętrznej umieszczone są łopatki. Po nasypaniu i pneumatycznym skonsolidowaniu próbki biopaliwa następuje obrót wałka głównego wyposażonego w łopatki. Moment obrotowy w chwili ścięcia mierzony jest czujnikiem zamontowanym na wałku głównym. Obciążenie próbki materiału miechem gumowym przez pokrywę jest realizowane przy użyciu jarzma łączącego miech z zewnętrznymi ścianami zbiornika. Pomiar aktualnej wysokości złoża, niezbędnej do określenia gęstości jest wykonywany przy pomocy czujników laserowych. Dane z czujników laserowych, przetworników siły i przetwornika momentu obrotowego zapisywane są na dysku twardym komputera poprzez kompletny system akwizycji danych oraz przedstawiane w formie wykresów. Pomiar wilgotności odbywa się przy pomocy czujników umieszczonych na ścianach aparatu od strony wewnętrznej.

Dane materiałowe wyznaczone przy pomocy testera są źródłem wiedzy o obciążeniach występujących w trakcie opróżniania i pobierania partii materiału zabierakami i podajnikami. Tester wraz z metodą pomiaru został zgłoszony w urzędzie patentowym.

Na bazie testów stanowiska do zastosowań naukowych wytworzono urządzenie do szybkiego wyznaczenia wilgotności, gęstości oraz przydatności do składowania sypkich biopaliw. Opracowano stanowisko pomiarowe do zastosowań przemysłowych z uproszonym układem obrotowym oraz suwakowym pomiarem wysokości złoża. Pozwala na szybkie określenie wytrzymałości na ścinanie skonsolidowanej sypkiej biomasy, na porównanie dostarczanej partii materiału z wymaganiami istniejącej instalacji a tym samym uniknięcie przyjęcia materiału o niepożądanych cechach. Dodatkowym atutem przedstawianego urządzenia jest to że przydatne jest do wyznaczania parametrów biomasy sypkiej w szerokim zakresie wymiarów pojedynczych cząstek. Dane otrzymywane są po krótkim czasie, rzędu kilku minut. Obsługa stanowiska nie wymaga wykwalifikowanego personelu a software urządzenia „prowadzi” krok po kroku operatora do uzyskania pełnej charakterystyki materiału i odpowiedzi czy spełnia wymogi. Zastosowanie proponowanego rozwiązania przez

elektrociepłownie i elektrownie przed przyjęciem biopaliwa umożliwia wykluczenie materiału o potencjalnie szkodliwych cechach.

Dokumentacja pozwala na budowę stanowiska przez zakłady mechaniki precyzyjnej na podstawie licencji udzielonej przez IAPAN. Ponadto stanowisko może być wypożyczane wszystkim zainteresowanym.

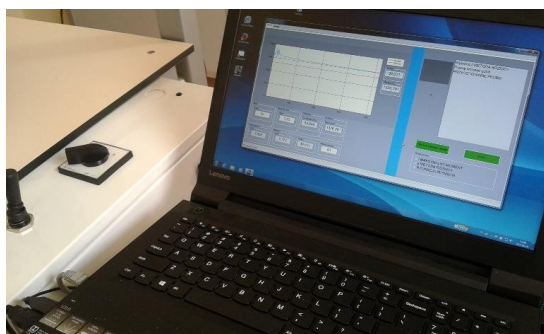


Fig. 1. Stanowisko do zastosowań przemysłowych.

TESTY STANDARDOWE

Badania wykonano dla różnych wilgotności materiałów. Przeprowadzono je przy pomocy standardowych metod dostępnych w Laboratorium mechaniki Materiałów Sypkich Instytutu Agrofizyki PAN. Badania przeprowadzono dla szerokiego zakres naporu, czasu konsolidacji, wilgotności, zawartości drobnej frakcji oraz zanieczyszczeń w teście bezpośredniego ścinania w aparacie Jenikego, oraz dodatkowo w aparacie pierścieniowo obrotowym. Określone zostały następujące parametry mechaniczne sypkiej biomasy: kąt tarcia wewnętrznego, efektywny kąt tarcia wewnętrznego, kohezja, sypkość.

DANE KATALOGOWE OTRZYMANE W STANOWISKU BEZPOŚREDNIEGO ŚCINANIA

Tabela 3. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku bezpośredniego ścinania

Materiał	Wilgotność [%]	Napór konsolidacji [kPa]	Kąt tarcia wew. [°]	Efektywny kąt tarcia wew. [°]	kohezja	Indeks płynięcia
Wióry dębowe	10	15	27,4±2,3	33,4±1,4	2,0±0,2	0,2
		30	25,3±1,4	32,1±0,8	4,5±0,3	0,2
	20	15	29,3±1,6	38,2±0,2	3,2±0,4	0,3
		30	31,5±3,9	40,0±4,8	4,6±1,3	0,3
	30	15	30,2±4,5	37,3±2,9	2,6±0,5	0,3
		30	30,3±0,5	37,2±0,4	5,0±0,6	0,3
	40	15	32,8±4,7	38,9±1,9	2,3±0,9	0,2
		30	35,1±0,7	39,0±0,5	3,1±0,1	0,2
	50	15	30,6±1,6	37,7±1,1	2,6±0,2	0,3
		30	31,3±0,4	37,3±0,3	4,4±0,3	0,2
	60	15	34,0±1,9	38,1±1,1	1,6±0,2	0,2
		30	32,6±1,0	37,4±0,5	3,6±0,3	0,2
Wióry sosnowe	10	15	28,9±2,6	35,4±0,9	2,3±0,5	0,2
		30	30,4±1,0	35,6±0,8	3,7±0,4	0,2
	20	15	36,6±2,9	42,0±1,1	2,2±0,7	0,2
		30	30,4±0,9	39,8±0,7	6,9±0,4	0,3
	30	15	39,4±0,8	42,5±0,5	1,4±0,1	0,1
		30	33,5±0,7	40,2±0,4	5,2±0,5	0,3
	40	15	39,0±0,5	42,6±0,0	1,6±0,2	0,2
		30	34,8±1,8	41,5±1,0	5,3±0,4	0,3
	50	15	37,3±0,7	40,9±0,3	1,5±0,4	0,1
		30	38,6±1,1	40,3±0,7	1,5±0,3	0,1
	60	15	34,3±1,0	40,9±0,4	2,7±0,4	0,3
		30	36,6±2,2	40,5±0,4	3,2±1,6	0,2

Tabela 3 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku bezpośredniego ścinania

Materiał	Wilgotność [%]	Napór konsolidacji [kPa]	Kąt tarcia wew. [°]	Efektywny kąt tarcia wew. [°]	kohezja	Indeks płynięcia
Trociny dębowe	10	15	25,2±2,4	32,5±1,1	2,4±0,5	0,3
		30	29,1±2,6	33,5±1,6	3,1±0,7	0,2
	20	15	28,0±2,8	36,2±0,7	2,8±0,8	0,3
		30	29,7±4,1	35,4±1,4	4,0±1,6	0,2
	30	15	26,3±1,3	35,6±0,7	3,1±0,5	0,3
		30	27,0±1,0	35,1±0,2	5,5±0,7	0,3
	40	15	31,0±2,2	36,7±1,0	2,1±0,4	0,2
		30	28,6±4,7	34,8±1,6	4,3±1,9	0,2
	50	15	26,8±1,1	34,7±0,3	2,7±0,4	0,3
		30	27,8±2,4	34,7±0,9	4,8±0,9	0,2
	60	15	28,1±3,1	34,7±1,3	2,3±0,6	0,2
		30	27,8±2,1	33,4±0,2	3,8±1,4	0,2
Trociny sosnowe	10	15	28,5±1,5	34,0±1,7	1,9±0,1	0,2
		30	23,8±1,5	32,4±0,9	5,5±0,2	0,3
	20	15	30,5±2,2	36,3±0,5	2,1±0,6	0,2
		30	32,2±2,1	36,0±0,9	2,8±0,8	0,1
	30	15	28,2±1,6	35,7±0,3	2,6±0,6	0,3
		30	28,4±2,2	34,9±0,7	4,5±1,0	0,2
	40	15	28,9±1,9	35,6±0,2	2,3±0,6	0,2
		30	29,3±2,9	35,3±1,0	4,2±1,1	0,2
	50	15	26,5±0,6	34,7±0,4	2,8±0,0	0,3
		30	28,9±1,6	34,7±0,9	4,1±0,4	0,2
	60	15	25,5±0,7	33,8±0,4	2,8±0,3	0,3
		30	24,8±1,7	33,1±1,3	5,4±0,3	0,3

Tabela 3 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku bezpośredniego ścinania

Material	Wilgotność [%]	Napór konsolidacji [kPa]	Kąt tarcia wew. [°]	Efektywny kąt tarcia wew. [°]	kohezja	Indeks płynięcia
Zrębki leśne	10	15	31,3±0,5	37,9±0,7	2,5±0,5	0,2
		30	29,8±1,5	34,7±0,5	3,5±1,3	0,2
	20	15	30,2±3,0	38,6±1,4	3,0±0,4	0,3
		30	25,3±1,3	32,8±1,4	4,9±0,5	0,3
	30	15	32,5±1,3	40,1±0,4	2,9±0,6	0,3
		30	32,9±2,6	37,4±1,2	3,4±1,0	0,2
	40	15	33,1±2,7	40,3±2,1	2,8±0,9	0,3
		30	30,7±1,4	36,0±0,8	3,9±0,9	0,2
	50	15	33,3±3,7	39,4±2,9	2,3±0,3	0,2
		30	31,9±0,6	37,7±1,5	4,3±1,4	0,2
	60	15	-	-	-	-
		30	-	-	-	-
Zrębki topolowe	10	15	29,1±4,4	36,2±2,0	2,5±0,7	0,3
		30	30,7±0,6	36,0±0,8	3,8±0,4	0,2
	20	15	29,9±2,4	36,3±0,6	2,3±0,6	0,2
		30	32,0±0,6	36,2±0,9	3,1±0,5	0,2
	30	15	28,9±0,5	35,9±1,9	2,5±0,6	0,3
		30	30,8±1,7	34,8±0,3	2,8±1,4	0,1
	40	15	31,3±1,7	36,4±1,3	1,9±0,1	0,2
		30	31,1±2,9	35,5±1,1	3,2±1,2	0,2
	50	15	30,3±0,7	37,3±2,2	2,5±0,7	0,3
		30	25,7±1,6	33,7±0,4	5,3±0,7	0,3
	60	15	-	-	-	-
		30	-	-	-	-
Słoma pszenna	10	15	23,9±1,2	26,1±1,0	0,7±0,2	0,1
		30	18,6±1,8	23,6±0,3	3,0±0,9	0,2
	20	15	28,2±2,3	32,4±0,9	1,5±0,4	0,2
		30	26,4±2,8	30,3±0,9	2,5±1,1	0,1
Rozdrobnie siano	10	15	21,5±0,8	27,6±0,4	1,9±0,1	0,2
		30	23,0±0,5	26,7±0,2	2,3±0,4	0,1
	20	15	30,6±4,5	33,4±2,0	0,9±0,8	0,1
		30	26,4±2,0	31,1±1,1	3,1±0,5	0,2
Pellet sosnowy	10	15	30,2±5,0	36,6±1,9	2,3±1,0	0,2
		30	26,8±2,2	33,8±1,4	4,7±0,4	0,2
Pellet słomiany	10	15	31,5±0,8	32,9±1,0	0,5±0,1	0,1
		30	22,0±1,4	27,9±0,2	3,7±0,9	0,2

Tabela 3 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku bezpośredniego ścinania

Material	Wilgotność [%]	Napór konsolidacji [kPa]	Kąt tarcia wew. [°]	Efektywny kąt tarcia wew. [°]	kohezja	Indeks płynięcia
Strużyny	10	15	23,5±3,6	36,8±1,1	4,3±1,2	0,4±0,1
		30	26,9±3,4	34,3±2,0	5,0±1,5	0,3±0,1
	20	15	34,2±2,1	42,1±0,8	3,2±0,4	0,3±0,0
		30	28,6±0,8	37,6±0,8	6,3±0,3	0,3±0,0
	30	15	36,1±0,9	40,5±0,4	1,8±0,2	0,2±0,0
		30	34,0±2,5	39,5±0,6	4,2±1,5	0,2±0,1
	40	15	31,3±0,9	44,9±0,5	5,2±0,0	0,5±0,0
		30	28,1±3,0	33,1±1,6	3,4±0,8	0,2±0,0
	50	15	30,9±5,0	42,5±0,5	4,2±1,6	0,4±0,1
		30	30,7±1,3	38,1±1,0	5,4±0,4	0,3±0,0
	60	15	34,4±4,8	41,3±2,7	2,7±0,6	0,3±0,1
		30	25,9±4,0	39,6±1,8	9,2±1,7	0,4±0,1
Pelet ze słomy Połaniec	10	15	30,9±2,5	39,8±1,6	3,3±0,2	0,3±0,0
		30	25,8±3,3	35,6±0,4	6,5±1,9	0,3±0,1
Pelet ze słonecznika	10	15	28,8±3,4	42,5±1,8	4,8±1,5	0,4±0,1
		30	31,9±3,8	38,0±3,1	4,5±0,8	0,2±0,0

Tabela 3 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku bezpośredniego ścinania

Material	Wilgotność [%]	Napór konsolidacji [kPa]	Kąt tarcia wew. [°]	Efektywny kąt tarcia wew. [°]	kohezja	Indeks płynięcia
Zrębki arbor	10	15	34,7±3,4	42,8±2,3	3,3±0,2	0,3±0,0
		30	27,6±0,5	31,9±6,1	7,7±0,1	0,3±0,1
	20	15	42,8±0,3	51,0±1,2	4,2±0,6	0,3±0,0
		30	30,6±0,9	45,3±0,7	11,0±0,2	0,5±0,0
	30	15	34,0±0,2	40,7±0,9	2,6±0,4	0,3±0,0
		30	18,7±0,3	34,9±0,6	9,7±0,2	0,5±0,0
	40	15	35,5±1,4	45,8±1,7	4,3±1,2	0,4±0,1
		30	18,6±3,6	40,1±0,9	12,9±0,9	0,6±0,0
	50	15	30,0±1,1	43,8±1,6	5,1±0,3	0,5±0,0
		30	23,7±1,6	40,7±0,5	11,1±0,8	0,5±0,0
	60	15	26,6±1,5	40,7±2,1	5,0±0,6	0,4±0,0
		30	24,3±0,2	38,6±0,8	9,3±0,6	0,4±0,0
Zrębki multon	10	15	33,8±1,0	46,3±1,3	5,0±0,3	0,4±0,0
		30	38,2±0,3	46,0±0,4	6,9±0,3	0,3±0,0
	20	15	45,2±2,4	50,2±1,4	2,7±0,6	0,2±0,0
		30	38,9±2,7	45,0±1,1	5,4±1,1	0,2±0,1
	30	15	38,5±1,5	49,2±0,8	4,9±0,8	0,4±0,1
		30	31,2±0,8	44,7±0,9	10,2±0,2	0,5±0,0
	40	15	34,7±0,3	45,5±1,2	4,4±0,4	0,4±0,0
		30	39,5±0,6	44,2±0,5	4,3±0,4	0,2±0,0
	50	15	31,6±1,3	44,8±1,0	5,1±0,0	0,4±0,0
		30	31,0±0,7	39,9±0,6	6,6±0,4	0,3±0,0
	60	15	41,6±1,9	50,2±1,3	4,3±0,2	0,3±0,0
		30	30,0±2,2	41,8±1,0	8,6±0,5	0,4±0,0
Zrębki skalec	10	15	33,2±0,6	47,5±0,2	5,7±0,1	0,5±0,0
		30	35,2±1,4	43,9±1,1	7,2±1,4	0,3±0,1
	20	15	23,4±12,0	42,5±4,3	6,1±1,2	0,5±0,1
		30	30,0±1,9	36,7±1,5	4,9±0,4	0,2±0,0
	30	15	32,4±4,2	42,4±4,3	3,9±1,2	0,4±0,1
		30	24,4±11,9	31,6±10,5	4,8±0,9	0,2±0,0
	40	15	39,8±3,3	44,5±0,8	2,1±1,5	0,2±0,1
		30	24,4±4,9	37,6±1,5	8,6±1,7	0,4±0,1
	50	15	34,0±4,2	40,7±1,6	2,6±1,3	0,2±0,1
		30	26,7±2,5	38,2±1,1	7,8±2,2	0,4±0,1
	60	15	-	-	-	-
		30	-	-	-	-

Tabela 3 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku bezpośredniego ścinania

Material	Wilgotność (%)	Napór konsolidacji [kPa]	Kąt tarcia wew. [°]	Efektywny Kąt tarcia wew. [°]	kohezja	Indeks płynięcia
trociny iglaste	10	15	23,5±1,4	35,2±0,6	3,8±0,6	0,4±0,0
		30	21,3±1,9	31,8±1,1	6,5±0,6	0,3±0,0
	20	15	38,4±1,0	42,0±1,2	1,6±0,9	0,1±0,1
		30	25,1±2,1	35,2±1,3	6,6±2,1	0,3±0,1
	30	15	25,9±3,1	37,1±1,4	3,7±1,3	0,4±0,1
		30	27,9±5,3	37,4±3,3	6,3±1,1	0,3±0,0
	40	15	36,5±0,9	40,5±1,1	1,6±0,8	0,2±0,1
		30	21,4±0,6	33,3±1,5	7,4±1,0	0,4±0,0
	50	15	37,5±1,4	39,2±0,4	0,7±0,7	0,1±0,1
		30	15,8±1,7	28,2±0,4	7,1±1,0	0,4±0,0
	60	15	22,1±4,9	31,4±2,3	2,8±0,5	0,3±0,1
		30	19,6±1,3	29,1±1,6	5,7±0,6	0,3±0,0
pelet z trocin 4mm	10	15	37,2±2,1	40,6±0,6	1,4±1,0	0,1±0,1
		30	23,2±1,5	34,3±1,0	7,1±0,4	0,4±0,0
siano	10	15	26,5±1,1	35,4±2,7	3,0±1,3	0,3±0,1
		30	17,7±1,2	30,3±0,5	7,5±0,9	0,4±0,0
	20	15	22,5±4,6	34,6±1,5	3,8±1,6	0,4±0,1
		30	16,4±2,7	30,3±2,2	8,1±0,6	0,4±0,0
pellet z siana	10	15	24,9±1,1	34,3±0,6	3,1±0,3	0,3±0,0
		30	23,8±4,9	30,1±0,5	3,9±2,5	0,2±0,1

DANE KATALOGOWE OTRZYMANE W STANOWISKU PIERŚCIENIOWO OBROTOWYM

Tabela 4. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku pierścieniowo obrotowym

materiał	Wilgotność [%]	napór konsolidacji [kPa]	FFC	PHIE [°]	PHILIN [°]
wióry dębowe	10	10	4,0±0,7	52,7±2,2	47,3±1,3
		20	4,0±0,2	50,5±1,1	44,9±1,4
	20	10	4,2±2,4	51,7±2,1	44,9±2,5
		20	4,0±0,6	50,9±0,8	45,2±2,0
	30	10	3,3±0,7	50,4±0,5	43,0±1,6
		20	3,4±0,5	53,3±1,2	46,6±2,5
	40	10	3,5±0,5	53,5±0,5	47,2±0,2
		20	2,9±0,0	54,3±1,2	46,7±1,5
	50	10	3,6±0,3	53,2±0,8	47,3±0,3
		20	3,3±0,1	53,8±2,4	47,4±2,7
	60	10	3,2±0,3	53,7±1,8	46,7±1,5
		20	3,4±0,3	5,21±0,8	45,4±0,1
wióry sosnowe	10	10	3,4±0,4	52,9±1,4	46,4±1,3
		20	3,1±1,0	5,95±7,7	52,6±8,4
	20	10	2,7±0,2	57,0±4,8	49,0±5,0
		20	2,6±0,1	56,6±0,4	48,2±0,1
	30	10	3,8±0,7	49,4±0,5	43,0±1,6
		20	3,7±0,5	52,3±1,2	46,6±2,5
	40	10	3,3±0,5	52,5±0,5	47,2±0,2
		20	3,1±0,0	53,3±1,2	46,7±1,5
	50	10	3,8±0,3	52,2±0,8	47,3±0,3
		20	3,5±0,2	52,8±2,4	47,4±2,7
	60	10	3,4±0,3	53,7±1,8	46,7±1,5
		20	3,7±0,2	53,1±0,8	45,4±0,1

Tabela 4 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku pierścieniowo obrotowym

materiał	Wilgotność [%]	napór konsolidacji [kPa]	FFC	PHIE [°]	PHILIN [°]
trociny dębowe	10	10	4,4±0,3	49,4±0,4	44,4±0,7
		20	4,4±0,2	48,8±0,2	43,6±0,2
	20	10	3,7±0,2	50,5±0,6	44,3±0,9
		20	3,4±0,4	50,3±1,3	43,3±0,5
	30	10	4,9±0,3	49,9±0,8	45,5±0,7
		20	4,1±0,7	50,8±0,5	45,4±1,0
	40	10	4,6±0,1	50,2±0,9	45,6±1,0
		20	4,1±0,3	50,4±0,3	45,1±0,9
	50	10	5,1±0,5	50,7±1,3	46,4±1,8
		20	4,1±0,1	49,8±0,8	44,4±0,7
	60	10	5,0±0,6	50,2±0,9	45,9±0,4
		20	4,1±0,4	50,7±1,2	45,3±0,8
trociny sosnowe	10	10	4,1±0,4	48,6±0,4	42,9±0,9
		20	3,6±0,2	48,8±0,7	42,3±0,8
	20	10	3,6±0,2	49,3±1,3	42,7±1,1
		20	3,1±0,1	50,1±0,4	42,5±0,5
	30	10	3,7±0,2	49,0±0,3	42,7±0,5
		20	3,6±0,5	49,5±0,6	42,9±0,5
	40	10	3,4±0,1	49,7±1,2	42,8±1,1
		20	3,4±0,4	49,0±1,4	42,0±1,5
	50	10	3,7±0,3	48,1±0,5	41,7±1,2
		20	3,2±0,1	49,7±1,6	42,2±1,6
	60	10	3,5±0,4	49,7±1,0	42,8±0,7
		20	3,5±0,3	49,4±0,5	42,6±1,2

Tabela 4 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku pierścieniowo obrotowym

materiał	Wilgotność [%]	napór konsolidacji [kPa]	FFC	PHIE [°]	PHILIN [°]
zrębki leśne	10	10	18,3±3,4	50,2±4,0	49,4±4,6
		20	14,7±9,3	47,1±0,3	45,3±0,8
	20	10	12,0±0,8	50,4±0,9	49,3±0,5
		20	9,2±1,9	44,3±0,9	41,8±1,6
	30	10	7,6	47,0±0,6	45,4±2,5
		20	6,1±2,9	51,1±3,3	46,9±3,5
	40	10	7,8±3,1	46,5±2,8	43,5±1,7
		20	6,2±4,0	51,7±1,9	47,4±3,7
	50	10	14,9	41,2±0,4	40,4±1,6
		20	6,1±1,6	50,3±1,8	46,8±0,8
	60	10	-	-	-
		20	-	-	-
zrębki topolowe	10	10	3,0±0,5	55,4±2,7	47,9±4,8
		20	2,9±0,0	51,7±1,3	43,5±1,7
	20	10	2,5±0,4	55,3±4,9	45,6±4,2
		20	2,6±0,4	56,7±0,4	47,9±1,6
	30	10	3,1±0,6	53,3±2,8	45,9±3,2
		20	3,3±0,5	52,0±1,2	45,2±0,6
	40	10	2,8±0,4	54,4±1,9	46,1±2,5
		20	3,6±0,4	50,4±1,6	43,9±1,3
	50	10	3,6±1,1	52,8±3,6	46,1±1,1
		20	5,1±0,2	50,5±1,0	46,3±1,1
	60	10	3,1±0,3	55,0±3,2	47,9±2,8
		20	3,4±0,3	55,2±1,3	45,7±0,8

Tabela 4 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku pierścieniowo obrotowym

material	Wilgotność [%]	napór konsolidacji [kPa]	FFC	PHIE [°]	PHILIN [°]
słoma pszenna	10	10	15,0±5,1	31,0±2,9	29,2±2,3
		20	9,0±0,4	34,2±1,4	31,4±1,3
	20	10	7,5±1,8	38,6±2,8	35,2±2,1
		20	6,8±2,1	39,1±5,7	35,3±4,6
		20	8,0±0,9	42,8±0,3	39,9±0,1
	Rozdrobnione siano	10	10	6,4±0,4	40,3±0,7
20			7,8±2,7	36,9±2,8	33,5±1,9
20		10	5,2±0,5	43,1±1,4	38,4±1,1
		20	5,6±0,2	39,8±1,7	35,3±1,9
pelet sosnowy 6mm	10	10	30,2	41,7±1,8	41,3±2,3
		20	8,0±0,9	42,8±0,3	39,9±0,1

Tabela 4 cd. Parametry sypkiej biomasy wyznaczone w stanowisku pierścieniowo obrotowym

materiał	Wilgotność [%]	napór konsolidacji [kPa]	FFC	PHIE [°]	PHILIN [°]
pelet ze słonecznika	10	10	17,7±8,7	39,0±1,0	37,4±1,6
		20	16,8±4,3	40,5±2,1	39,1±2,2
pelet słoma Polaniec	10	10	6,6±1,2	38,5±1,2	34,6±1,4
		20	8,4±0,8	38,4±1,1	35,5±0,9
trociny iglaste	10	10	6,2±0,8	42,9±1,2	39,1±1,2
		20	6,0±0,3	41,4±0,8	37,4±0,8
	20	10	4,6±0,9	46,7±0,5	41,4±1,0
		20	4,2±0,5	45,9±1,0	40,2±0,3
	30	10	4,9±0,6	46,7±0,5	42,0±0,1
		20	5,1±0,8	46,1±1,1	41,5±1,3
	40	10	4,9±0,8	46,2±0,6	41,5±1,4
		20	4,7±0,3	45,9±0,1	40,9±0,3
	50	10	5,6±0,4	45,3±1,3	41,2±1,5
		20	5,0±0,7	45,9±1,1	41,2±0,8
	60	10	5,3±1,2	45,1±0,8	40,4±0,6
		20	5,5±0,8	45,9±0,3	41,6±0,6
pelet z trocin iglastych	10	10	26,6±9,0	36,4±1,1	35,5±0,8
		20	13,8±4,8	37,4±0,9	35,5±1,6
siano	10	10	5,2±0,2	41,9±0,4	37,2±0,2
		20	5,1±0,8	40,8±2,2	35,8±1,4
	20	10	4,4±0,7	46,5±2,6	41,1±1,9
		20	3,8±0,4	46,4±1,3	39,8±1,2
pelet z siana	10	10	15,2±2,3	34,2±2,0	33,1±2,9
		20	33,8±20,4	32,5±1,4	31,6±1,2

DANE KATALOGOWE OTRZYMANE W STANOWISKU DO POMIARU MOMENTU OBROTOWEGO SKONSOLIDOWANEJ BIOMASY SYPKIEJ

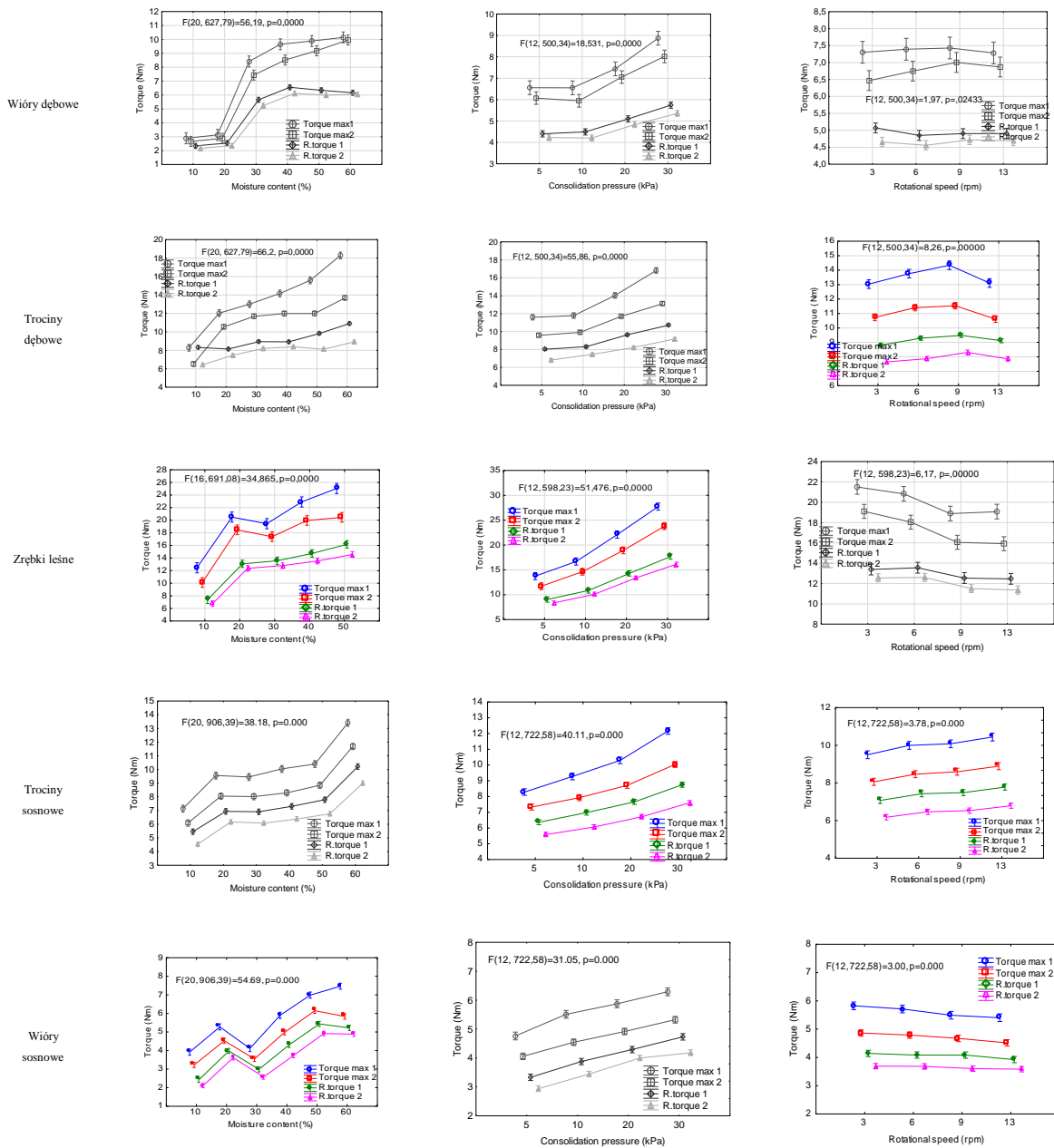


Fig. 2. Wartości średnie momentu obrotowego wraz z 95% przedziałami ufności w zależności od wilgotności, naporu konsolidacji i prędkości obrotowej.

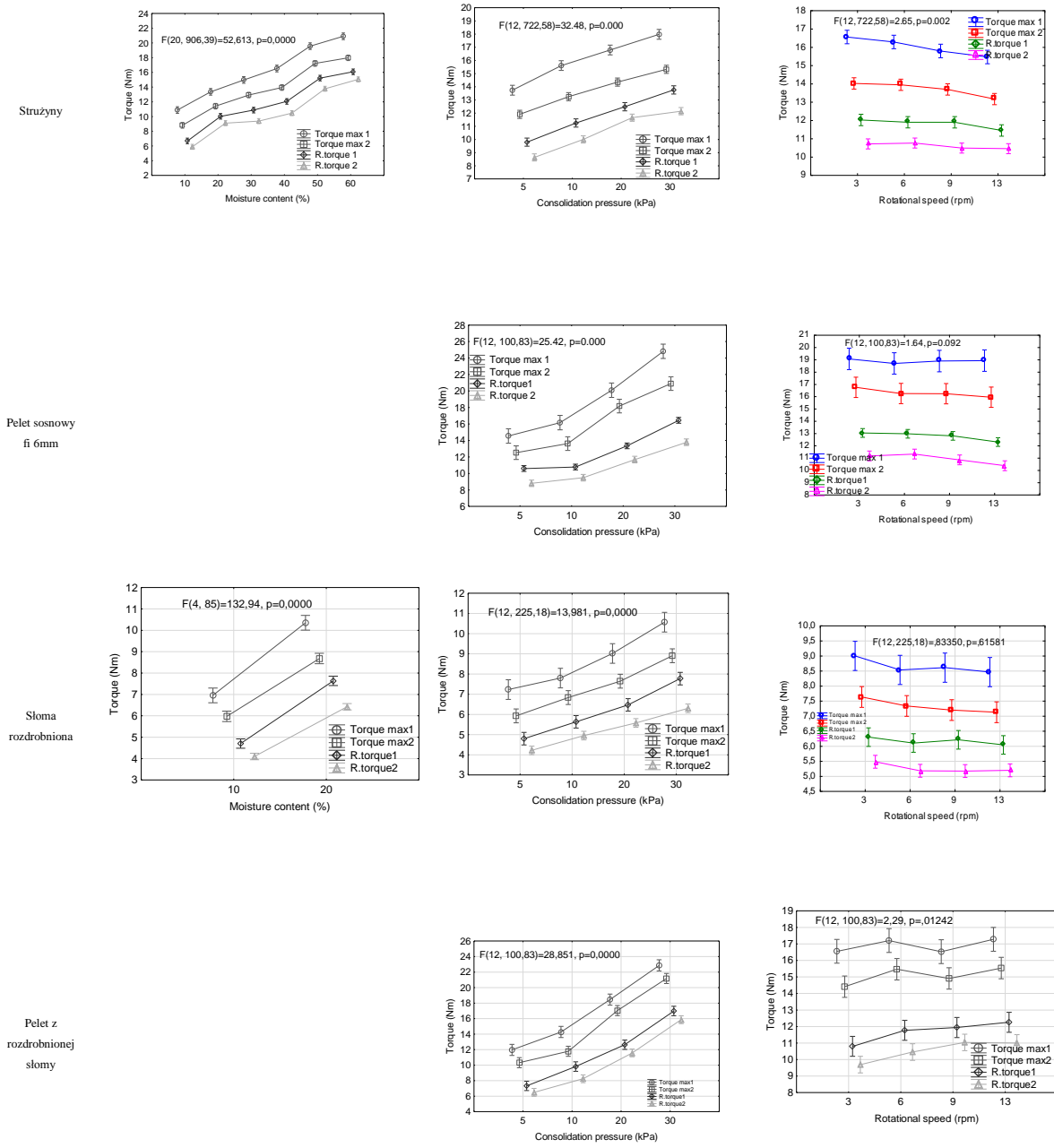
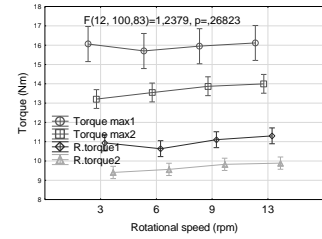
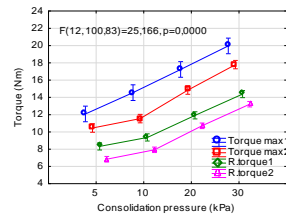
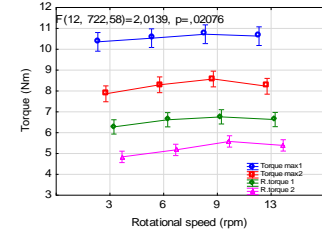
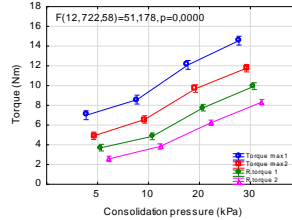
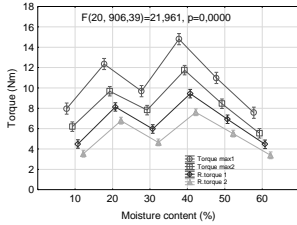


Fig. 2 cd. Wartości średnie momentu obrotowego wraz z 95% przedziałami ufności w zależności od wilgotności, naporu konsolidacji i prędkości obrotowej.

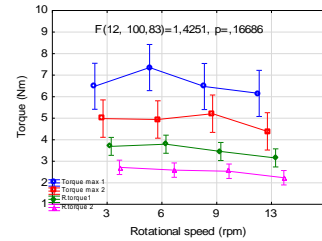
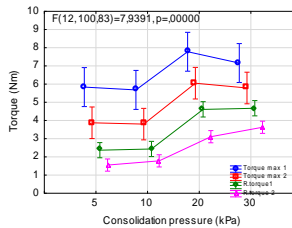
Pellet z trocin
Ostrółęka



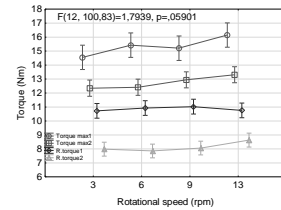
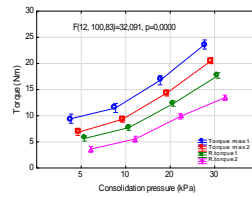
Trociny iglaste



Rozdrobnione
siano
Ostrółęka



Pellet z siana
fi 6



Pellet fi 4

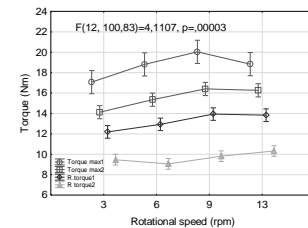
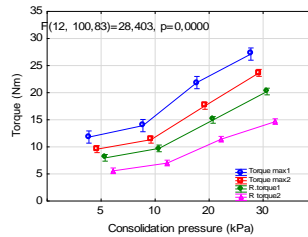
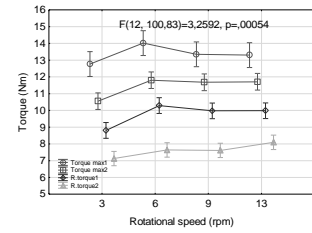
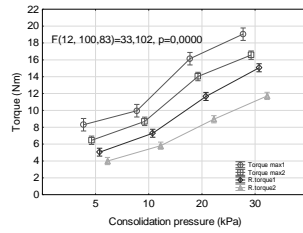
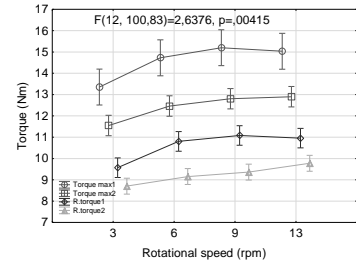
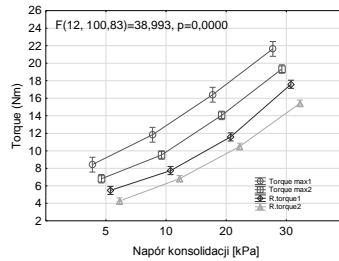


Fig. 2 cd. Wartości średnie momentu obrotowego wraz z 95% przedziałami ufności w zależności od wilgotności, naporu konsolidacji i prędkości obrotowej.

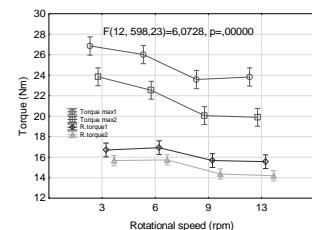
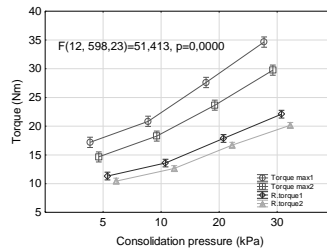
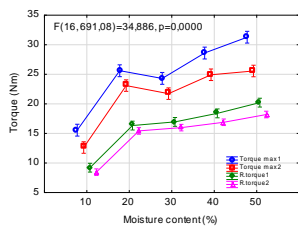
Pellet ze słomy
Potamic



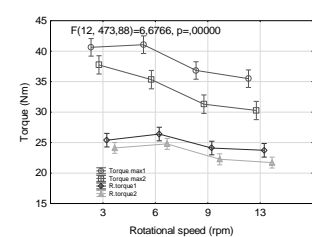
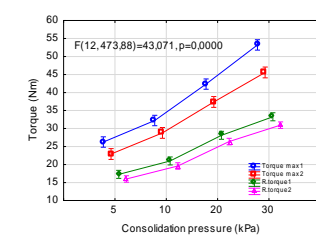
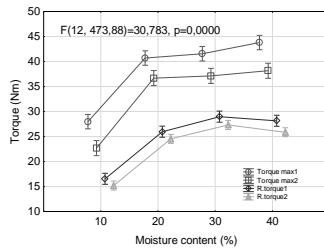
Pellet ze słonecznika



Arbor



Multon



Skalec

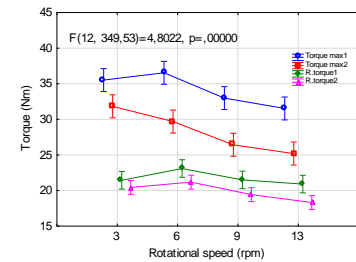
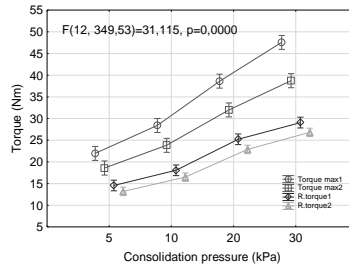
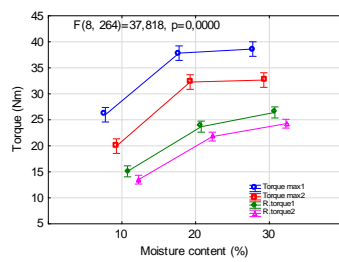


Fig. 2 cd. Wartości średnie momentu obrotowego wraz z 95% przedziałami ufności w zależności od wilgotności, naporu konsolidacji i prędkości obrotowej.

PODSUMOWANIE

Prace w projekcie wykonywane były przez konsorcjum, w którego skład wchodziły Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie oraz Termall Sp. z.o.o. Rozruch Moc Ekologia. Należy spodziewać się znacznych korzyści z zastosowania wyników projektu w praktyce. Tematyka zrealizowanego projektu jest odpowiedzią na konkretne zapotrzebowanie zgłaszane przez technologów i projektantów instalacji do magazynowania, transportu i przetwarzania sypkiej biomasy.

Wyniki niniejszego projektu w postaci dwóch stanowisk pomiarowych właściwości sypkiej biomasy wraz z opracowanymi metodami pomiaru oraz katalogu właściwości sypkiej biomasy skierowane są do przedsiębiorstw przetwarzających i spalających sypką biomasę oraz do jednostek naukowych i laboratoriów badawczych zajmujących się tego typu materiałami. Ponadto wyniki badań i dane katalogowe są niezbędne projektantom instalacji do magazynowania, transportu i przetwarzania sypkiej biomasy. W wyniku realizacji niniejszego projektu objęto ochroną dwa wzory przemysłowe stanowisk pomiarowych oraz zgłoszono do ochrony patentowej urządzenie oraz metodę pomiaru.

Katalog właściwości materiałowych umieszczony został na stronie internetowej IA PAN. Wyniki projektu prezentowane były w trakcie konferencji branżowej i opublikowane na łamach czasopisma o tej tematyce. Dane te mogą być wykorzystane bezpośrednio przez projektantów i technologów procesów z udziałem sypkiej biomasy. Dzięki nim, możliwy jest ekonomiczniejszy projekt przy zachowaniu wymaganych parametrów.

Wytworzony aparat łopatkowy został zastosowany w Laboratorium Mechaniki Materiałów. Szeroki zakres parametrów eksperymentu stanowiska pomiarowego umożliwia badanie cech sypkiej biomasy dostosowane do wymagań laboratoriów naukowych. Dane materiałowe wyznaczone przy pomocy testera są źródłem wiedzy o obciążeniach występujących w trakcie opróżniania i pobierania partii materiału zabierakami i podajnikami. Tester może być zastosowany przez laboratoria naukowe. Dokumentacja umożliwia wytwarzanie takiego stanowiska pomiarowego przez zakład mechaniki precyzyjnej na potrzeby laboratoriów badawczych. Tester i metoda pomiaru zostały zgłoszone w urzędzie patentowym. Do tej pory wiele rozwiązań opatentowanych w IA PAN zostało wdrożonych przez przedsiębiorstwa dlatego też istnieje szansa na wdrożenie również i tego.

Na bazie testów aparatu do zastosowań naukowych wytworzono urządzenie do szybkiego wyznaczenia wilgotności, gęstości oraz przydatności do składowania sypkich biopaliw. Pozwala na szybkie określenie wytrzymałości na ścinanie skonsolidowanej sypkiej

biomasy, na porównanie dostarczanej partii materiału z wymaganiami istniejącej instalacji a tym samym uniknięcie przyjęcia materiału o niepożądanych cechach.

Dane te otrzymywane są po krótkim czasie, rzędu kilku minut. Obsługa stanowiska nie wymaga wykwalifikowanego personelu a software urządzenia „prowadzi” krok po kroku operatora do uzyskania pełnej charakterystyki materiału i odpowiedzi czy spełnia wymogi. Zastosowanie proponowanego rozwiązania przez elektrociepłownię i elektrownię przed przyjęciem biopaliwa umożliwi wykluczenie materiału o potencjalnie szkodliwych cechach. Dokumentacja pozwala na budowę stanowiska przez zakłady mechaniki precyzyjnej na podstawie licencji udzielonej przez IAPAN. Ponadto stanowisko może być wypożyczane wszystkim zainteresowanym.

Podsumowując uzyskane wyniki projektu stanowią zagadnienia aplikacyjne wpisujące się w potrzeby branży.