



**Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences  
Department of Physical and Technological Properties of  
Agricultural Materials  
Laboratory of Mechanics of Granular Materials**



**Mateusz Stasiak, Marek Molenda  
BIOMASA SYPKA. WŁAŚCIWOŚCI, PROBLEMY  
I NOWA METODA BADAWCZA.**

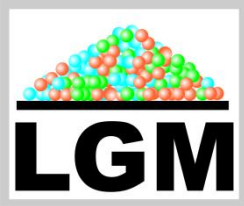
**„Metody fizyczne w badaniu środowiska rolno-spożywczego i leśnego”  
Malinówka k. Ełku, 9-11 września 2015**



**Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences  
Department of Physical and Technological Properties of  
Agricultural Materials  
Laboratory of Mechanics of Granular Materials**



**„Metody fizyczne w badaniu środowiska rolno-spożywczego i leśnego”  
Malinówka k. Ełku, 9-11 września 2015**



**Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk**  
**Department of Physical and Technological Properties of**  
**Agricultural Materials**  
**Laboratory of Mechanics of Granular Materials**



**„Metody fizyczne w badaniu środowiska rolno-spożywczego i leśnego”**  
**Malinówka k. Ełku, 9-11 września 2015**



## **Wartość różnych paliw**

<b>Paliwo</b>	<b>Wartość opałowa w GJ/t</b>
Gaz propan-butan	45
Lekki olej opałowy	42
Ciężki olej opałowy	40
Węgiel	27
Koks	25
Drewno opałowe suche	19

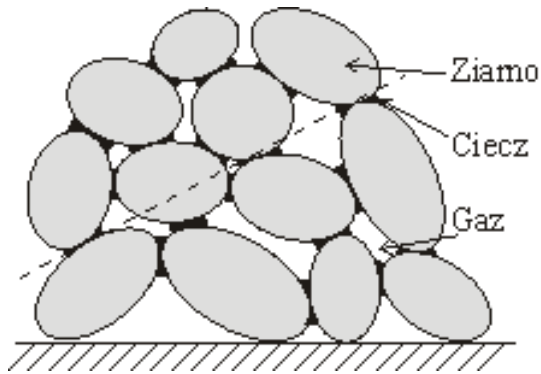
**Zrębki nawet 70%**  
**śnieg**



- **„Biomasa”: rolnicza, leśna**
- **rozwój badań wykorzystania biomasy jako alternatywnego źródła energii**
- **wzrost zainteresowania produktem ubocznym plonu, odpadem (makuchy, słoma)**
- **potrzeba opracowania nowych technologii zbioru, przechowywania i przetwarzania biomasy**
- **znajomości charakterystyk przetwarzanego materiału (odkształcalność, wpływ warunków atmosferycznych)**

## **Rozdrobniona biomasa – materiał ziarnisty**

materiał ziarnisty posiada zdolność przenoszenia naprężeń stycznych -  
charakteryzuje się tarciem wewnętrznym, w przeciwieństwie do cieczy



### **Właściwości:**

**Rozkład granulometryczny**

**Gęstość**

**Porowatość**

**Kąt nasypu**

**Kąt tarcia i kohezja**

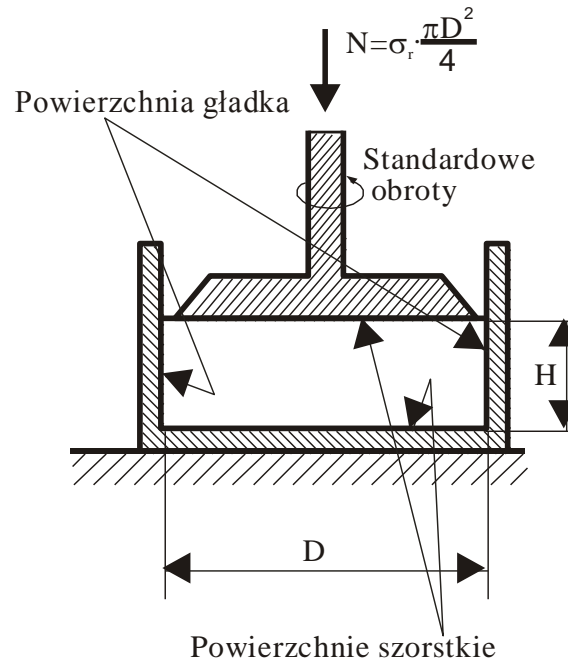
**Tarcie o materiały konstrukcyjne**

**Ścisłość, stałe sprężystości**

**Trwałość**

**Sypkość**

# Gęstość



Wyznaczanie gęstości materiału ziarnistego wg Eurocode 1



## **Porowatość**

**Porowatość**  $\varepsilon$  – to iloraz objętości fazy gazowej i ciekłej w materiale porowatym do całkowitej objętości materiału.

**Bardzo ważny parametr w procesach technologicznych wykorzystujących przepływ gazu lub cieczy przez materiał porowaty czy złożę materiału sypkiego.**

Porowatość można wyrazić w zależności od gęstości usypnej  $\rho_v$  i gęstości właściwej cząstek  $\rho$  jako:

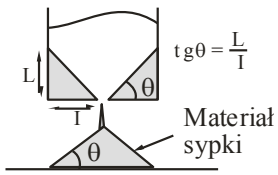
$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_v}{\rho}$$



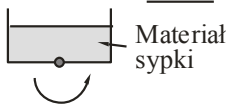
## Kąt nasypu, usypu, naturalnego stoku

Pionowy strumień ziaren upadając na płaską, poziomą powierzchnię tworzy pryzmę w kształcie stożka. **Kąt nachylenia tworzącej stożka względem poziomu jest uproszczoną miarą tarcia wewnętrznego i określany jest terminem - kąt nasypu  $\theta$**  (PN-74/Z-04002.07 [76]).

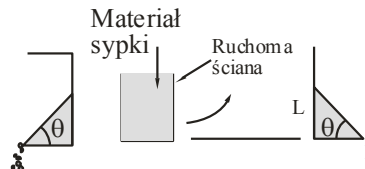
Metody wyznaczania kąta nasypu wg wyboru Teunou i in. (1995).



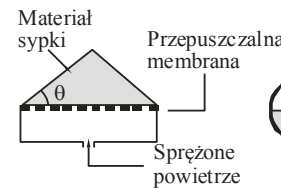
(a) Metoda opróżniania



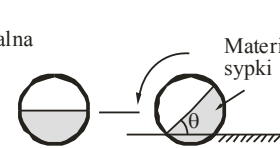
(b) Metoda poślizgu



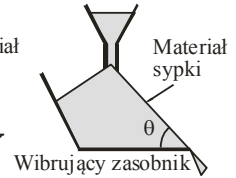
(c) Metoda osiadania



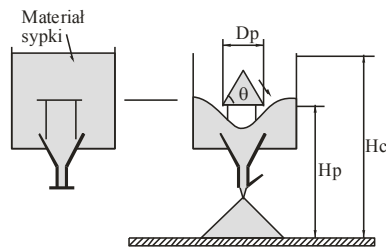
(d) Metoda napowietrzania



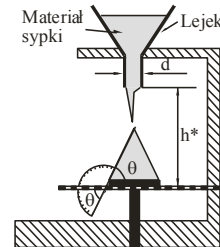
(e) Metoda obrotowa



(f) Metoda wibracyjna



(g) Metoda zanurzenia



(h) Metoda nasypywania

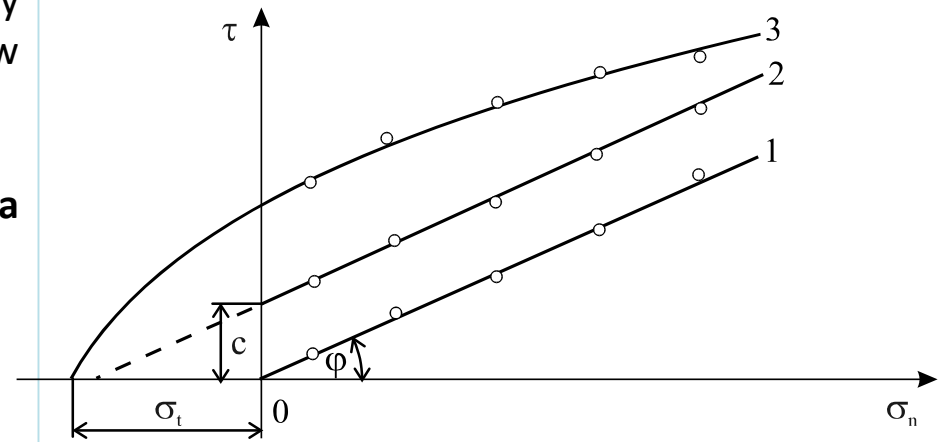
## Kąty tarcia wewnętrznego: $\varphi_c$ i $\delta$ oraz kohezja $c$

Parametry wytrzymałości materiału sypkiego określają warunki, w których zachodzi przejście ze stanu sprężystego lub sztywnego do stanu plastycznego płynięcia. Parametry te służą, między innymi do oceny możliwości grawitacyjnego wypływu materiałów sypkich.

Na podstawie przebiegu warunku uplastycznienia wyznacza się następujące parametry:

- kąt tarcia wewnętrznego  $\varphi$ ,
- efektywny kąt tarcia wewnętrznego  $\delta$ , oraz
- kohezję  $c$ .

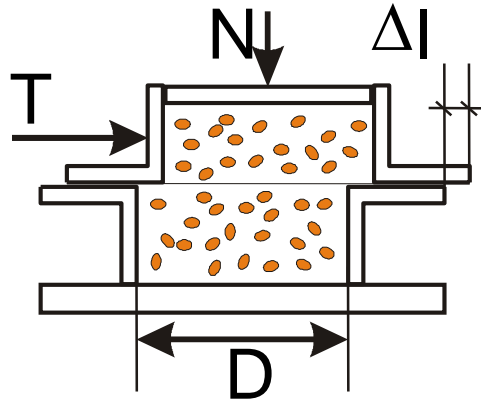
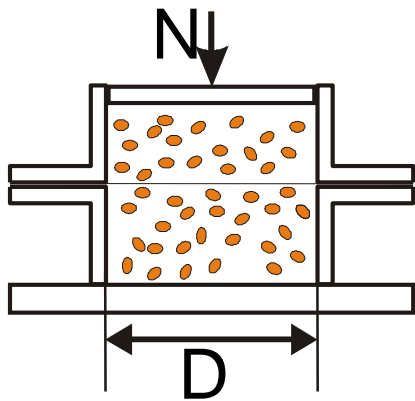
Zależnie od położenia i kształtu krzywej uplastycznienia materiały sypkie podzielić można na trzy grupy:



Materiały sypkie:

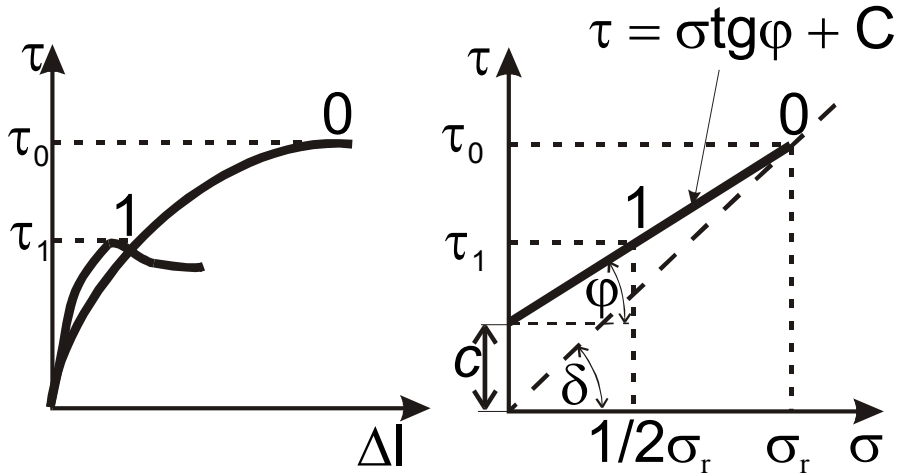
1– bez kohezji, 2– kohezyjne, 3– silnie adhezyjne

## Test bezpośredniego ścinania

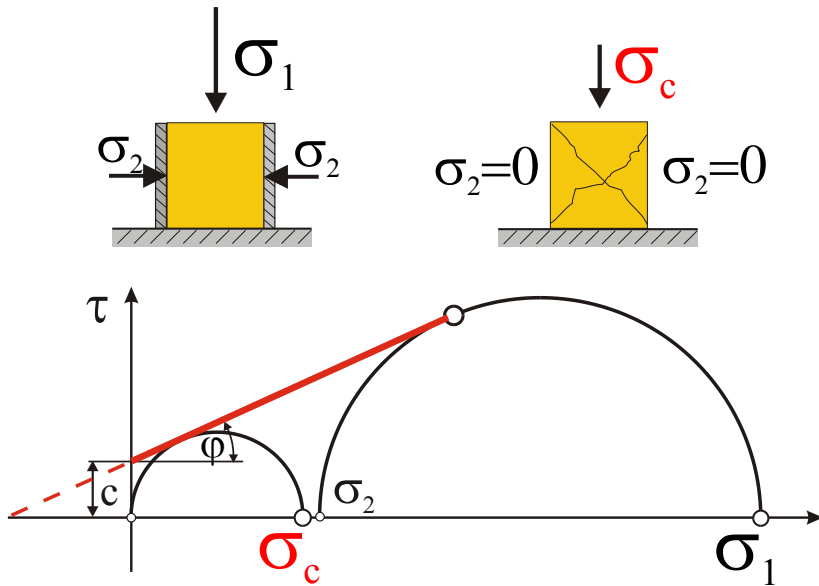


$$\sigma = \frac{4N}{\pi D^2}$$

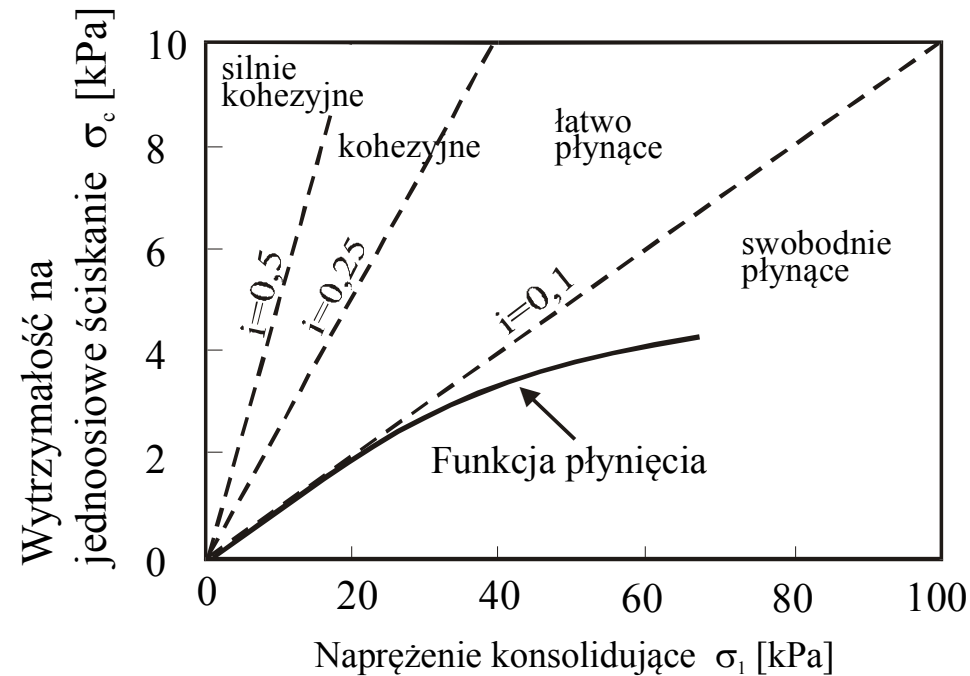
$$\tau = \frac{4T}{\pi D^2}$$



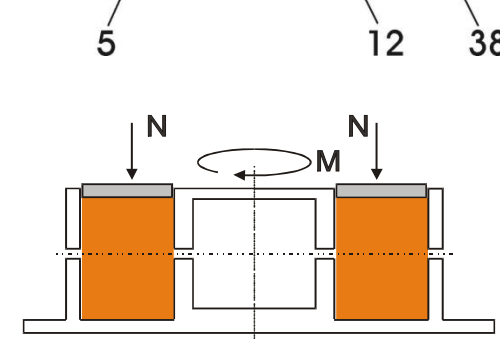
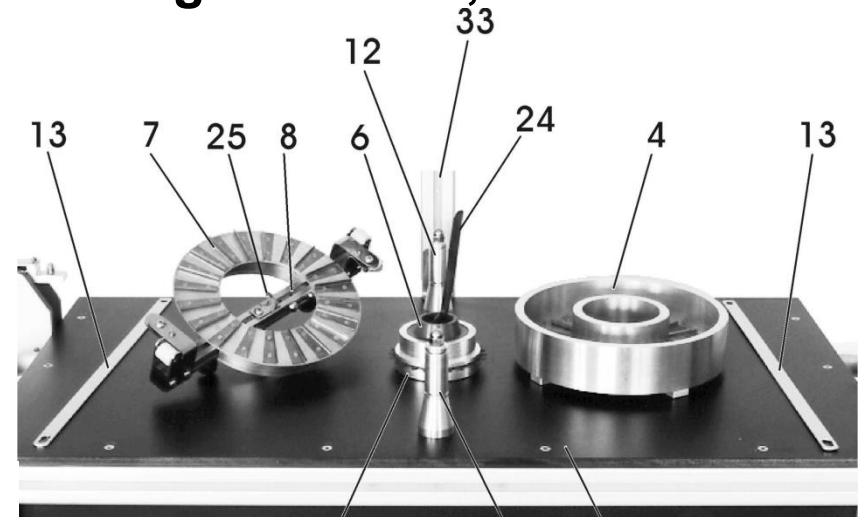
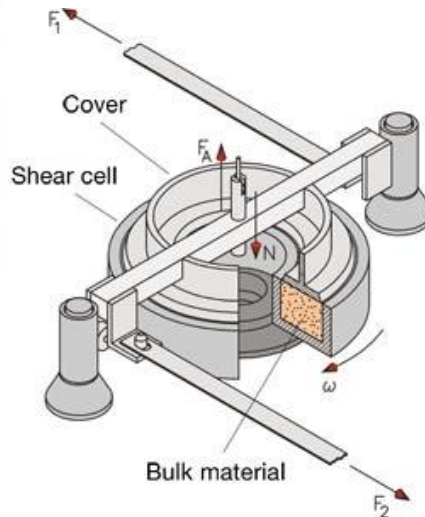
## Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie



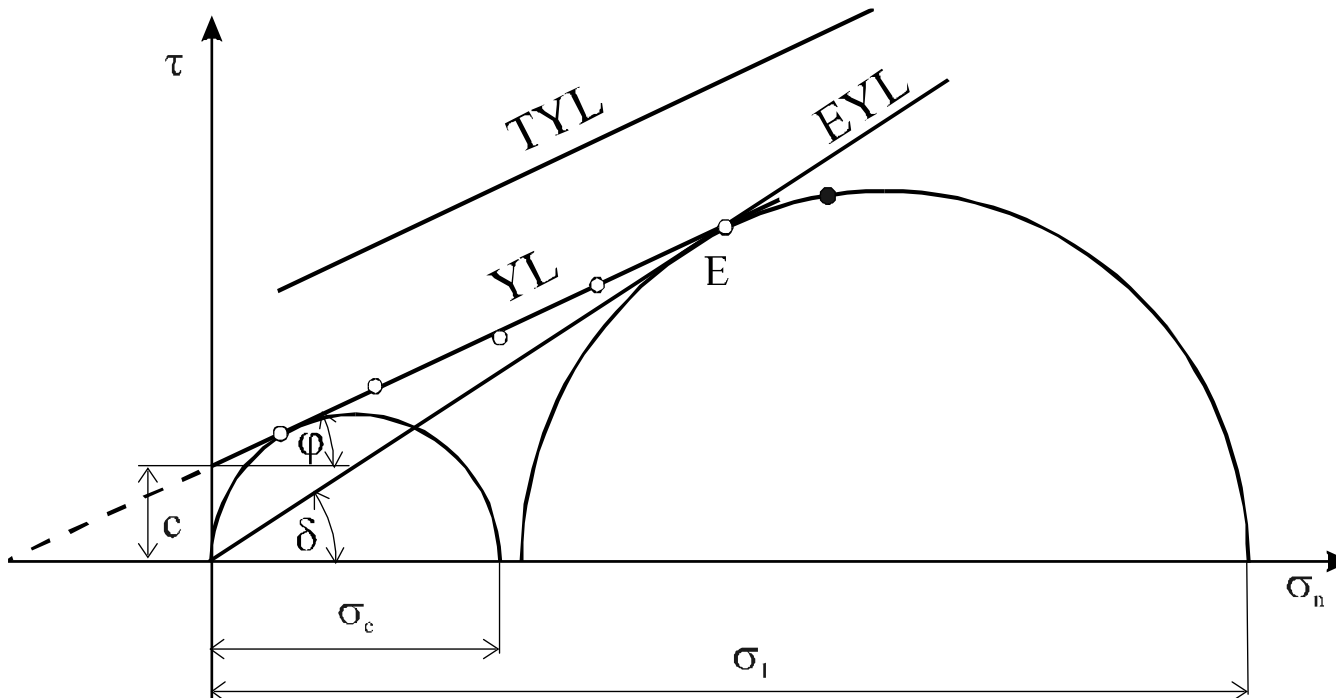
## Funkcja płynięcia



# Aparat pierścieniowo-obrotowy bezpośredniego ścinania, Schulze, NIEMCY



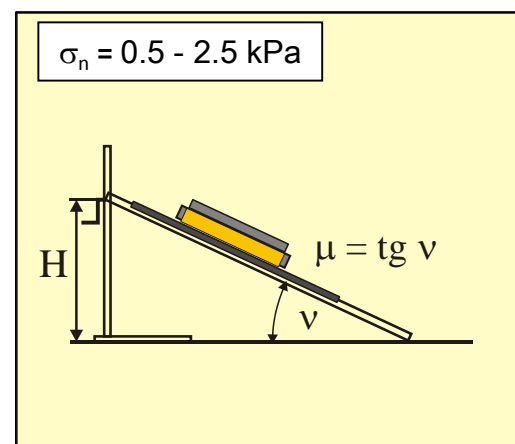
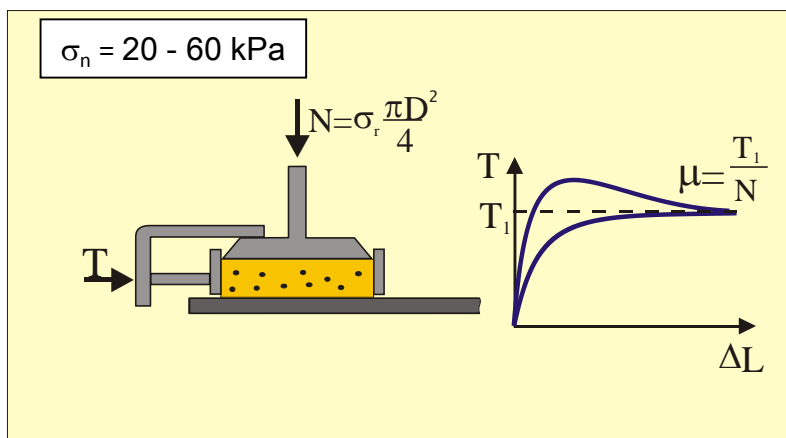
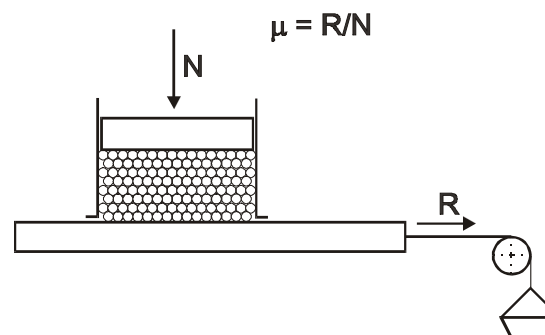
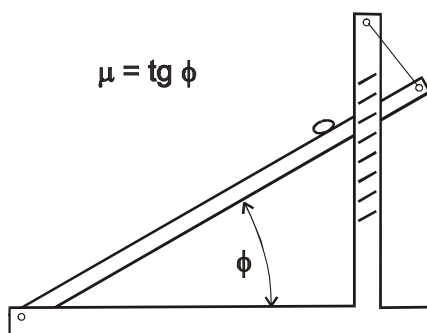
## Konsolidacja czasowa



Doraźny (YL), efektywny (EYL) i zależny od czasu konsolidacji warunek plastyczności (TYL)

## Tarcie zewnętrzne

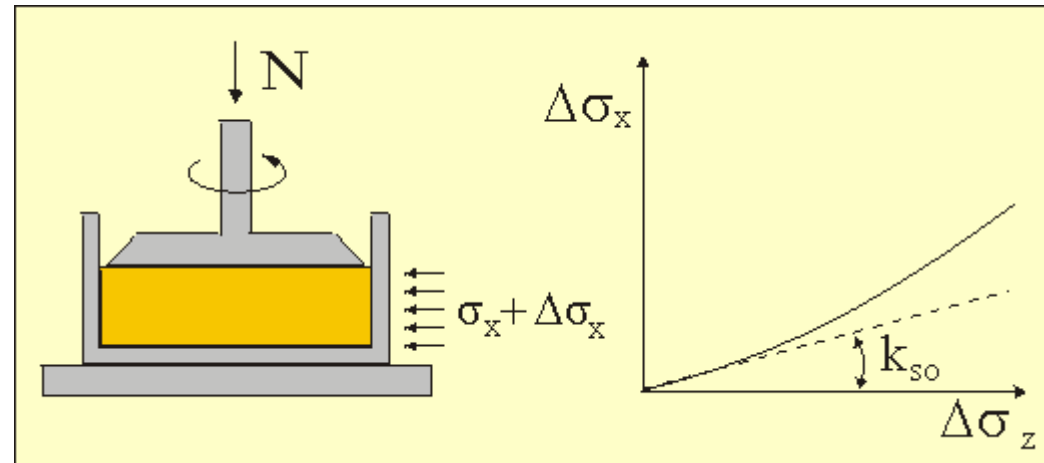
### Współczynnik tarcia



## Iloraz naporu, $K$

To iloraz naporu poziomego do pionowego w obciążonej próbce. Wartość parametru  $K$  otrzymuje się w drodze bezpośredniego pomiaru, albo oblicza z zależności od kąta tarcia wewnętrznego

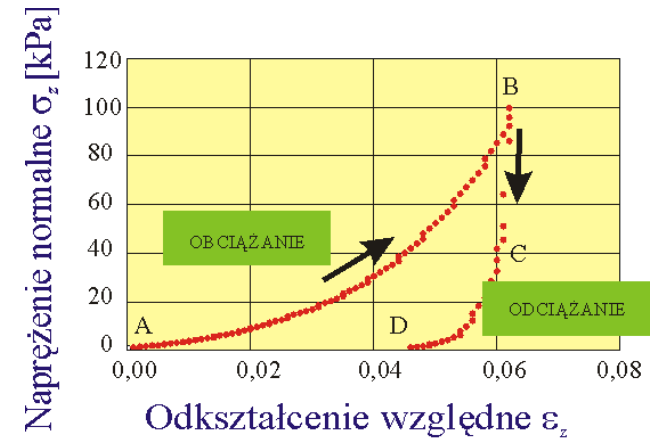
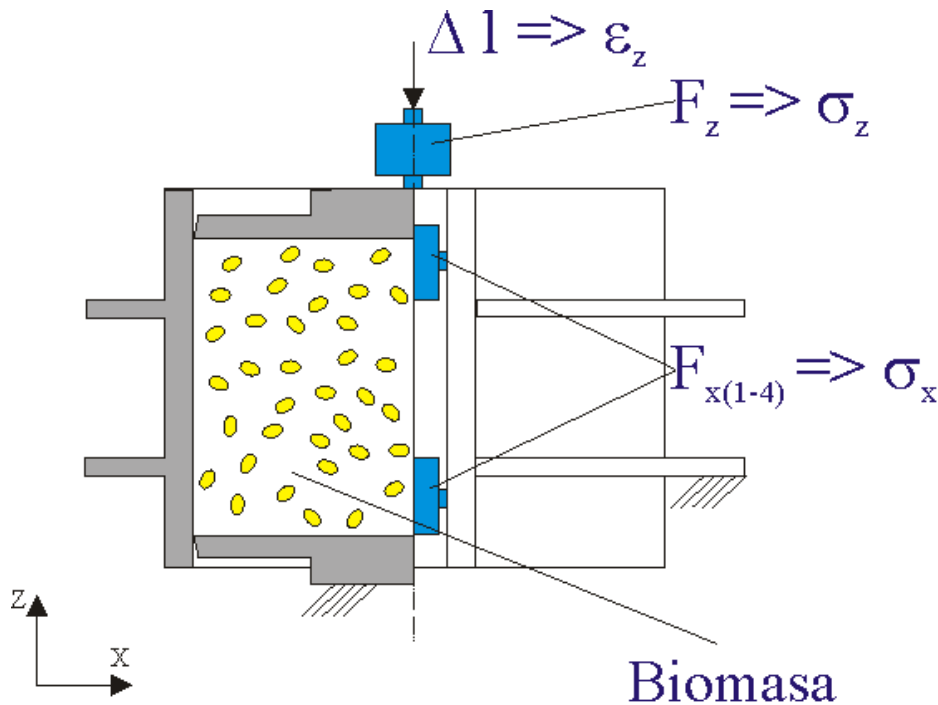
W przypadku pomiaru wyznaczana jest wartość w warunkach ściany gładkiej  $K_{s,m0}$ . Obciążenie pionowe jest przykładane do górnej powierzchni próbki, która nie ma możliwości przemieszczenia poziomego. Mierzone są napór poziomy  $\sigma_x$  i pionowy  $\sigma_z$ . Geometria aparatu pomiarowego i procedura wstępnego przygotowania próbki są identyczne jak w przypadku wyznaczania gęstości skonsolidowanej. Dno aparatu jest oddzielone od ściany, aby umożliwić pomiar naporu poziomego. Z pomiaru wyznaczany jest przebieg zależności  $\Delta\sigma_x(\Delta\sigma_z)$ , i dalej iloraz naporu  $K_{s,m0}$





## Parametry sprężystości:

### Stanowisko i model:



$$\varepsilon_z = \varepsilon_z^D + \varepsilon_z^S$$

$$\varepsilon_z = D_1 \ln(1 + D_2 \sigma_z^\alpha) + \frac{\sigma_z}{E} \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right)$$

$$\varepsilon_z = \varepsilon_z^S$$

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right)$$



## **Ściśliwość**

- ważna dla *zwiększenia gęstości właściwej* mającej niekiedy krytyczne znaczenie dla efektywności ekonomicznej przechowywania i transportu
- redukcja objętości o każdy pojedynczy procent oznacza zysk w żywej gotówce
- znormalizowanie *kształtu produktu* (brykiety, pellety, tabletki) znakomicie ułatwia liczne operacje technologiczne takie jak dozowanie, transport, czy pakowanie

## TRWAŁOŚĆ

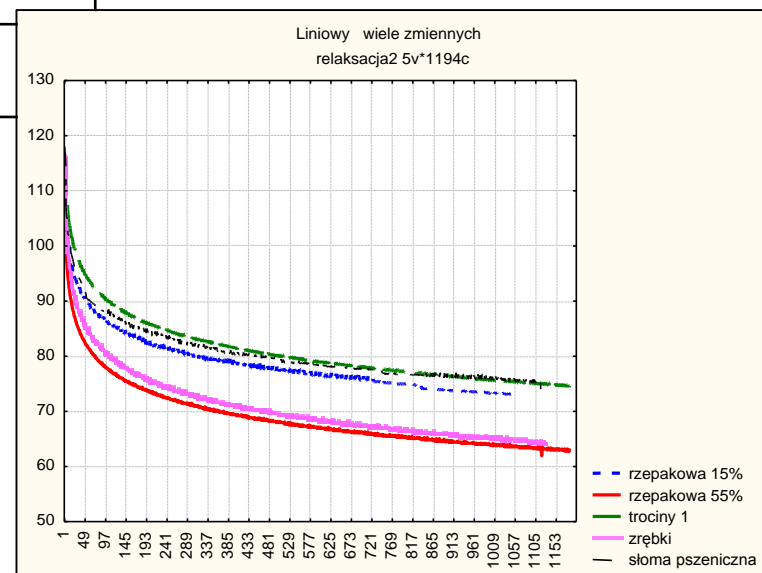


**ÖNORM M 7135**



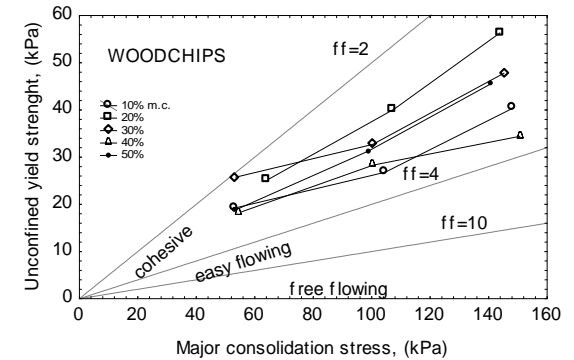
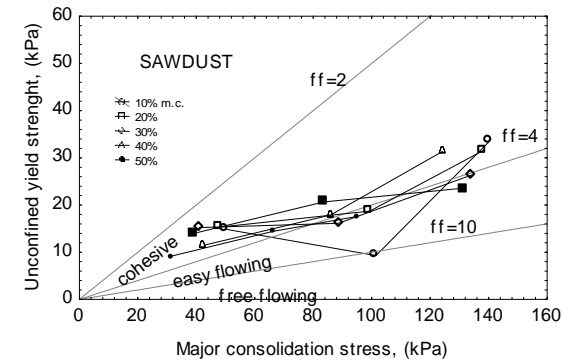
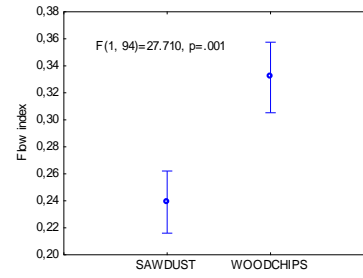
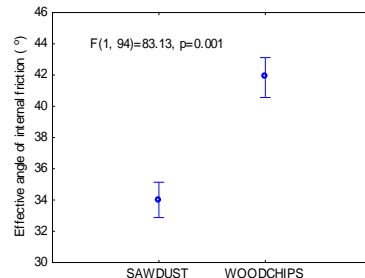
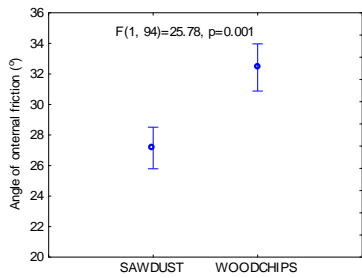
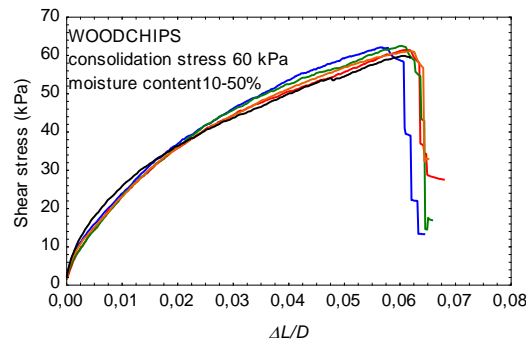
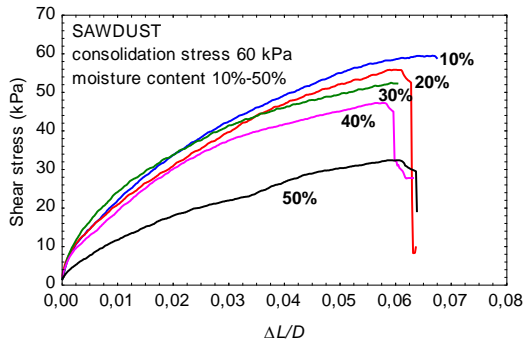
## BADANIA

Material	Wilgotność W [%]	Gęstość usypna $\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Gęstość w stanie skonsolidowanym $\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Moduł sprężystości E[MPa]
Trociny	12,5	<b>312</b>	<b>708</b>	0,36
Zrębki	23	<b>300</b>	<b>500</b>	0,33
Słoma rzepakowa	15	<b>65</b>	<b>299</b>	0,36
Słoma rzepakowa	55	<b>145</b>	<b>544</b>	0,32
Słoma pszeniczna	12	<b>48</b>	<b>233</b>	0,26



## BADANIA

Material	Wilgotność W [%]
Trociny	10-60
Zrębki	10-50



Stasiak et al., Fuel 159, 900-908, 2015.



## BADANIA

### Ponżej 3mm:

- zrębki I - 30%
- zrębki II - 38%
- zrębki III - 49%
- zrębki IV - 58%
- zrębki V - 12%

$i < 0,1$  – sypkie swobodnie płynące,  
 $0,1 < i < 0,25$  – łatwo płynące,  
 $0,25 < i < 0,5$  – kohezyjne,  
 wykazujące przyczepność, płynięcie  
 wymuszone,  
 $0,5 < i$  – silnie kohezyjne, niepłynące.

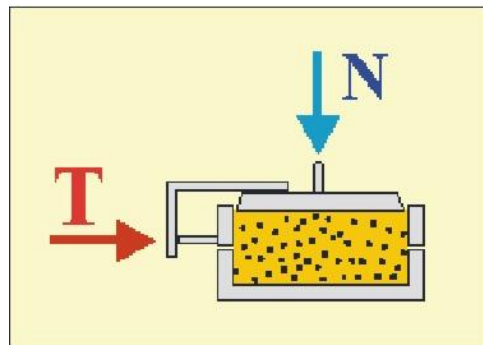
### Wyniki:

Material	Wilgotność [%]	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Masowa zawartość frakcji [%]		Kąt t. wewn. $\varphi$ [°]		Kohezja C [kPa]		Indeks płynięcia i	
			>5mm	>3mm						
Material I	48	373	>5mm	57	27	31	2,18	2,93	0,65	0,58
			>3mm	13						
			>1mm	20						
			<1mm	10						
Material II	53	366	>5mm	45	30	27	0,32	2,38	0,57	0,70
			>3mm	17						
			>1mm	26						
			<1mm	12						
Material III	55	360	>5mm	37	19	20	2,54	3,55	0,75	0,91
			>3mm	14						
			>1mm	25						
			<1mm	24						
Material IV	38	283	>5mm	29	26	26	1,8	2,8	0,58	0,60
			>3mm	13						
			>1mm	29						
			<1mm	29						
Material V	40	280	>5mm	75	31	28	0,03	2,32	0,11	0,47
			>3mm	13						
			>1mm	9						
			<1mm	3						

## BADANIA

**Materiały:**  
 rozdrobniony brykiet

**Stanowisko:**  
 Prędkość 21mm/min;  
 fi 210mm; napór 60kPa;



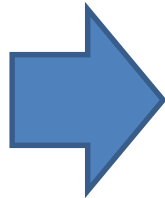
**Czas**  
**konsolidacji:**  
 12, 24 i 36h

$i < 0,1$  – sypkie swobodnie płynące,  
 $0,1 < i < 0,25$  – łatwo płynące,  
 $0,25 < i < 0,5$  – kohezyjne, wykazujące  
 przyczepność, płynięcie wymuszone,  
 $0,5 < i$  – silnie kohezyjne, niepłynące.

**Tarcie:**  
 blacha i beton

Material	Kąt t. wewn. $\varphi$ [°]	Efektywny kąt t. wewn. $\varphi_e$ [°]	Kohezja C [kPa]	Indeks płynięcia i
Test wykonany bezpośrednio po nasypaniu	12	24	13	0,35
Test wykonany po czasowej konsolidacji przez 12h	13	25	14	0,37
Test wykonany po czasowej konsolidacji przez 24h	15	29	16	0,40
Test wykonany po czasowej konsolidacji przez 36h	15	29	17	0,43
Współczynnik tarcia o blachę	0,33			
Współczynnik tarcia o beton	0,42			

## **NOWA METODA**



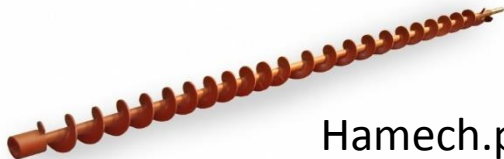
**Potrzeby zgłaszane przez projektantów i użytkowników :**

**szybki pomiar**

- **Wilgotności**
- **Gęstości**
- **Przydatności do składowania**
- **Czy będą problemy z biomasą**



**Wycena biomasy**

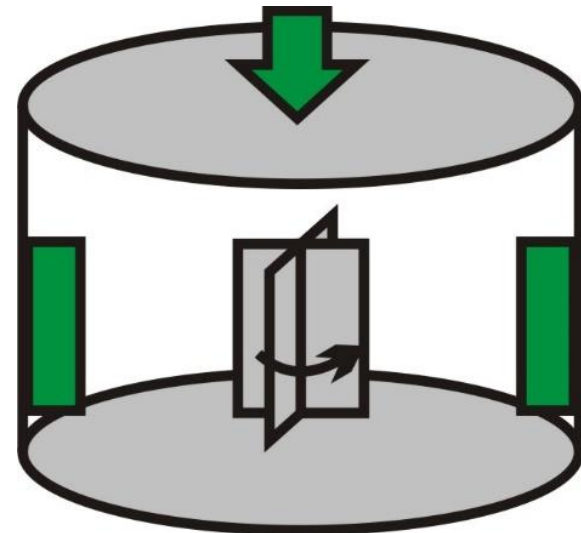
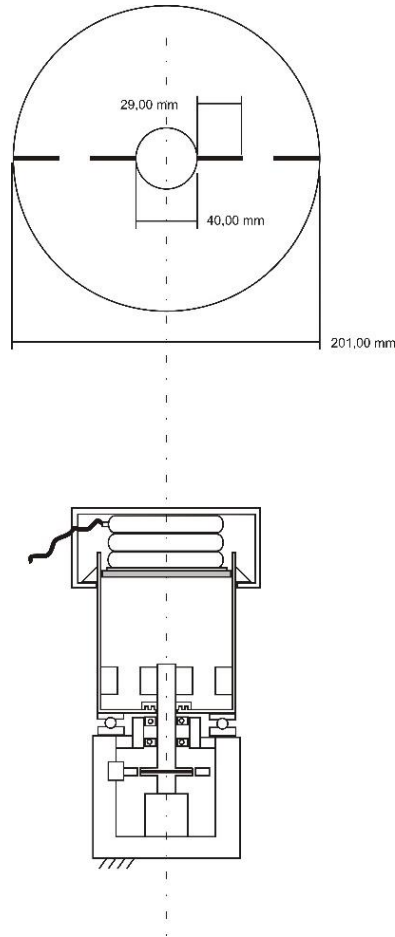


Hamech.pl



## NOWA METODA

Konsorcjum:  
Termall S.A.  
Instytut Agrofizyki PAN



NCBiR PBS3/A8/31/2015

System oznaczania właściwości i jakości sypkiej biomasy





**Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences  
Department of Physical and Technological Properties of  
Agricultural Materials  
Laboratory of Mechanics of Granular Materials**



**DZIĘKUJĘ BARDZO**



**„Metody fizyczne w badaniu środowiska rolno-spożywczego i leśnego”  
Malinówka k. Ełku, 9-11 września 2015**