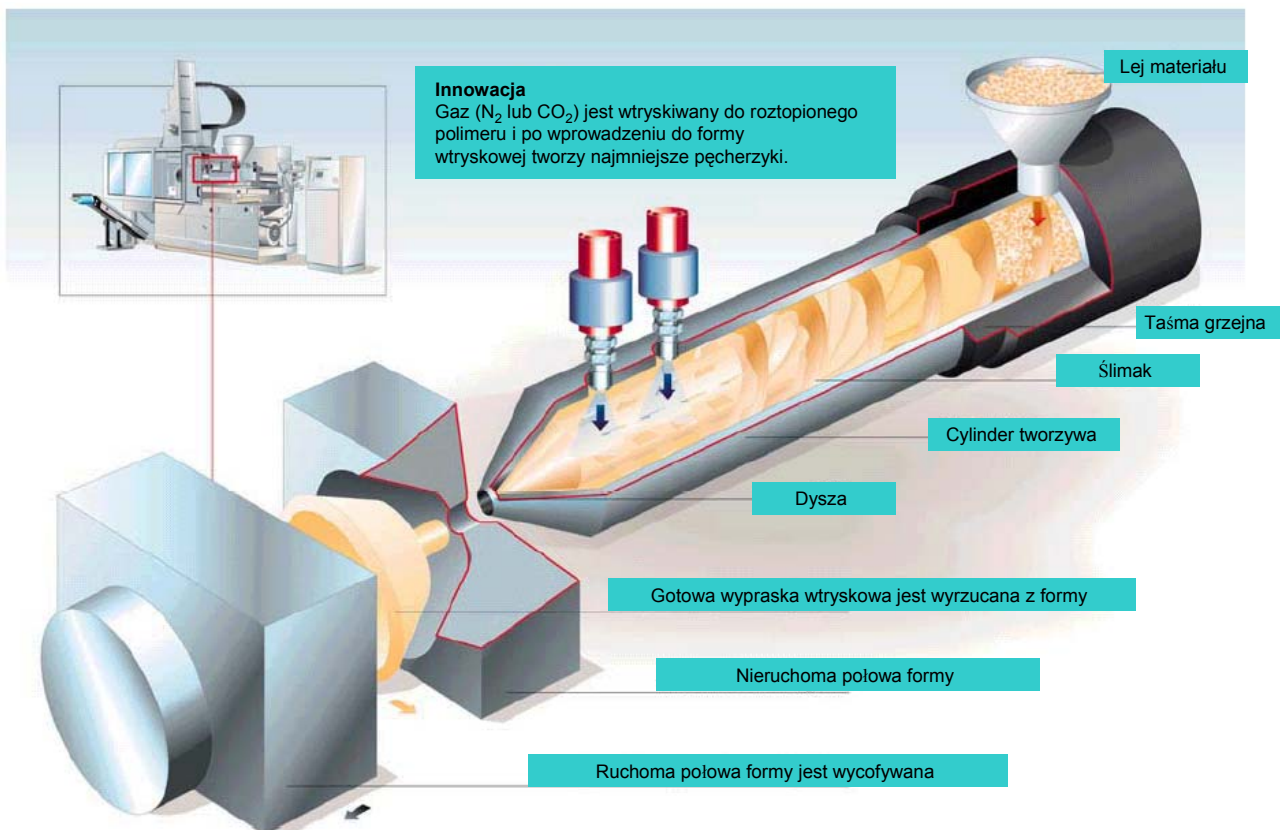


## Wykorzystanie zalet ekonomicznych technologii MuCell

Michael Hörr / Dr. Otto Schönherr  
Ticona Kelsterbach

**Właściwości mechaniczne pianek uzyskiwanych metodą fizyczną MuCell wynikają z prostych zasad. Dzięki temu użytkownik może przy pomocy prostych środków niezawodnie oszacować optymalną możliwą redukcję ciężaru, a tym samym zalety ekonomiczne metody.**



Technologia MuCell wykorzystuje gazy atmosferyczne do wytwarzania mikrokomórkowych pianek o zamkniętych porach [HÖR 02, JAC 00]. Uzyskiwane są komórki o średnicach pomiędzy ok. 5 i ok. 100 mikrometrów. Gęstość komórek leży w zakresie od  $10^7$  do  $10^9$  komórek na centymetr sześcienny. W porównaniu z tradycyjnymi odlewami wtryskowymi uzyskiwane są wyraźne redukcje czasów cyklu [STE 99]. Nowa technologia oferuje zatem atrakcyjną z ekonomicznego punktu widzenia drogę do obniżenia ciężaru.

Odnosnie elementów technicznych formowanych wtryskowo stawiane są wymagania mechaniczne wynikające z konkretnych zastosowań. Ogranicza to możliwe do realizacji obniżenia ciężaru do maksymalnie 20 % [HÖR 02]. Ustalanie optymalnych możliwych stopni spienienia w obrębie tych granic wymaga znajomości niezawodnych parametrów mechanicznych. Te z kolei można uzyskać korzystając z metod fizycznych weryfikowanych eksperymentalnie [SIE 83, DED 73, SCH 01, HAD 02, MAD 89, ZHE 98]. Często jest to jednak skomplikowane i czasochłonne. Dlatego poszukuje się prostych zasad uzyskiwania niezawodnej charakterystyki pozwalającej na oszacowanie prostymi środkami potencjału redukcji kosztów.

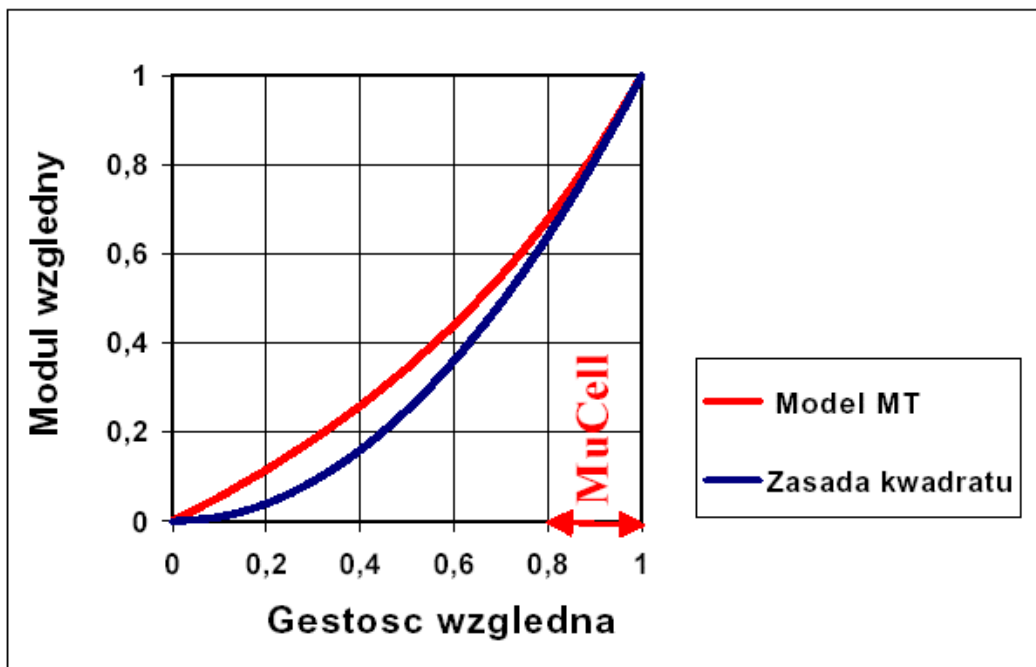
Niniejsze opracowanie zestawia wyniki uzyskane w tej dziedzinie przez firmę Ticona. Przedstawione zostaną proste zasady, z których wynikają właściwości mechaniczne pianek uzyskiwanych metodą fizyczną. Niezawodność tych zasad zostanie zademonstrowana przez porównanie z wynikami eksperymentalnymi i z rezultatami modeli fizycznych weryfikowanych doświadczalnie.

## 1) Moduł sprężystości podłużnej przy rozciąganiu

Moduły sprężystości podłużnej pianek mikrokomórkowych mogą być opisywane przy pomocy tak zwanych modeli mikromechanicznych lub modeli mechaniki kontinuum materialnego [DVO 99, SCH 01, ZHE 98]. Model MT nawiązujący do prac Mori i Tanaki przedstawia moduły względne jako funkcję gęstości względnej. Pod pojęciem „względny” należy rozumieć właściwość odniesioną do właściwości osnowy (sieci macierzystej). I tak gęstość względna  $\rho_{wzgl}$  pianki polimerowej jest gęstością odniesioną do gęstości polimeru wyjściowego

$$\rho_{pianki} / \rho_{osnowy}$$

Na rysunku 1 przedstawiono graficznie przewidywania modelu MT dla mikrokomórkowej pianki polimerowej.



Rys. 1. Względne moduły sprężystości podłużnej przy rozciąganiu dla pianek mikrokomórkowych według modelu MT i empirycznej zasady kwadratu

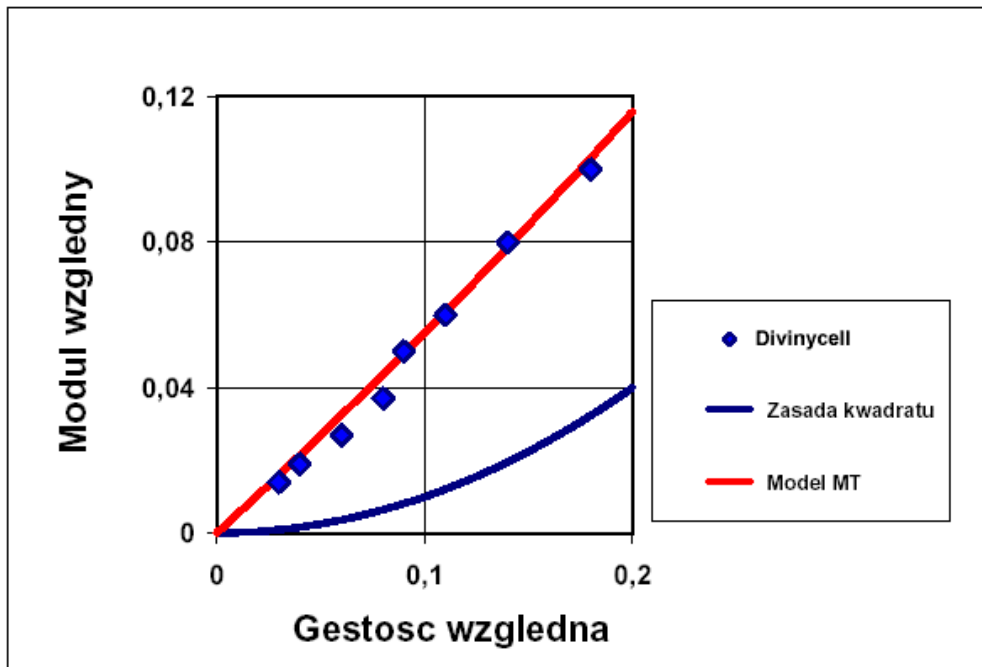
Moore, Couzens i Iremonger [MOO 74] zaproponowali całkowicie empirycznie następującą zasadę kwadratu dla pianek termoplastycznych:

$$(I) E_{wzgl} = \rho_{wzgl}^2$$

gdzie  $E_{wzgl}$  i  $\rho_{wzgl}$  oznaczają moduł względny i gęstość względną.

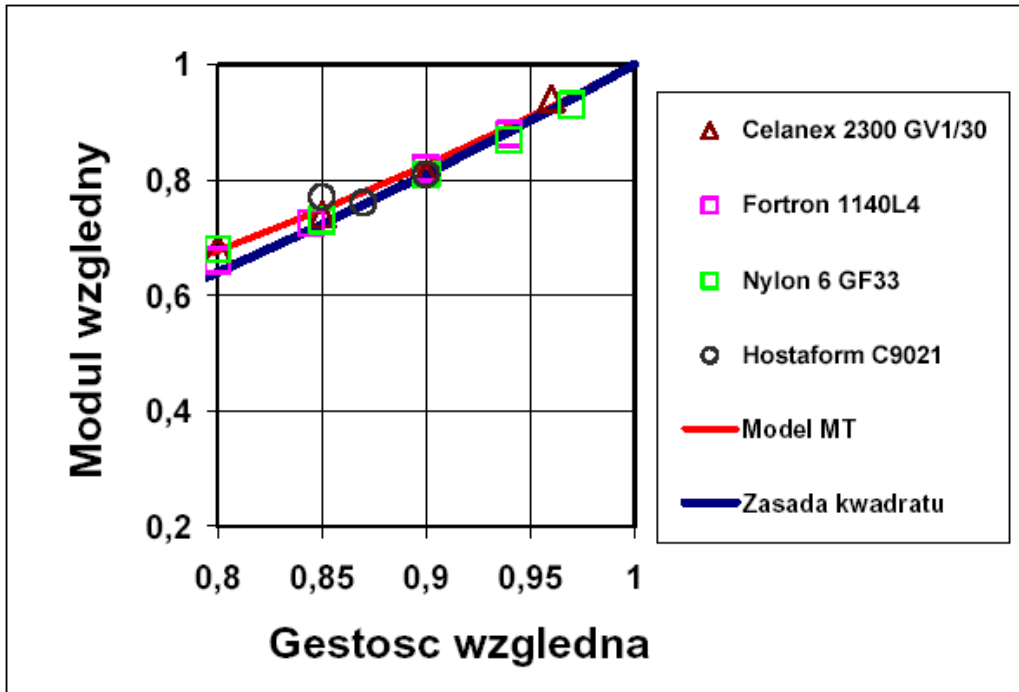
Przewidywania zasady kwadratu są na rysunku 1 porównane z przewidywaniami modelu MT. Poniżej gęstości względnych wynoszących ok. 0,8, które są istotne dla detali formowanych wtryskowo zgodnie z metodą MuCell, moduły uzyskane według zasady kwadratu leżą wyraźnie poniżej modułów oczekiwanych zgodnie z modelem MT.

Rysunek 2 przedstawia porównanie eksperymentalnych modułów pianek PCW o niższych gęstościach z przewidywaniami modelu MT i zasady kwadratu. Model mechaniki kontinuum materialnego daje w przeciwieństwie do zasady empirycznej wartości, które są doskonale zgodne z wynikami eksperymentalnymi. Zatem zasada kwadratu zawodzi w przypadku pianek o stopniach spienienia spoza zakresu interesującego dla metody MuCell.



**Rys. 2.** Porównanie przewidywań modelu MT i zasady kwadratu z danymi eksperymentalnymi dla pianek PCW o zamkniętych komórkach [SCH 01] i o gęstościach leżących znacznie poniżej zakresu metody MuCell

Rys. 3 przedstawia eksperymentalne i teoretyczne moduły sprężystości podłużnej pianek mikrokomórkowych w zakresie gęstości istotnych dla metody MuCell. Model MT wykazuje dobrą zgodność z wynikami doświadczalnymi. Prosta zasada kwadratu daje wartości, które prawie nie odbiegają od uzyskanych w modelu MT. Zatem w zakresie gęstości istotnych dla formowania wtryskowego metodą MuCell, leżących powyżej ok. 0,8 można stosować zasadę kwadratu.



Rys. 3: Zastosowanie zasady kwadratu dla modułów sprężystości podłużnej przy rozciąganiu dla gęstości względnych powyżej 0,8

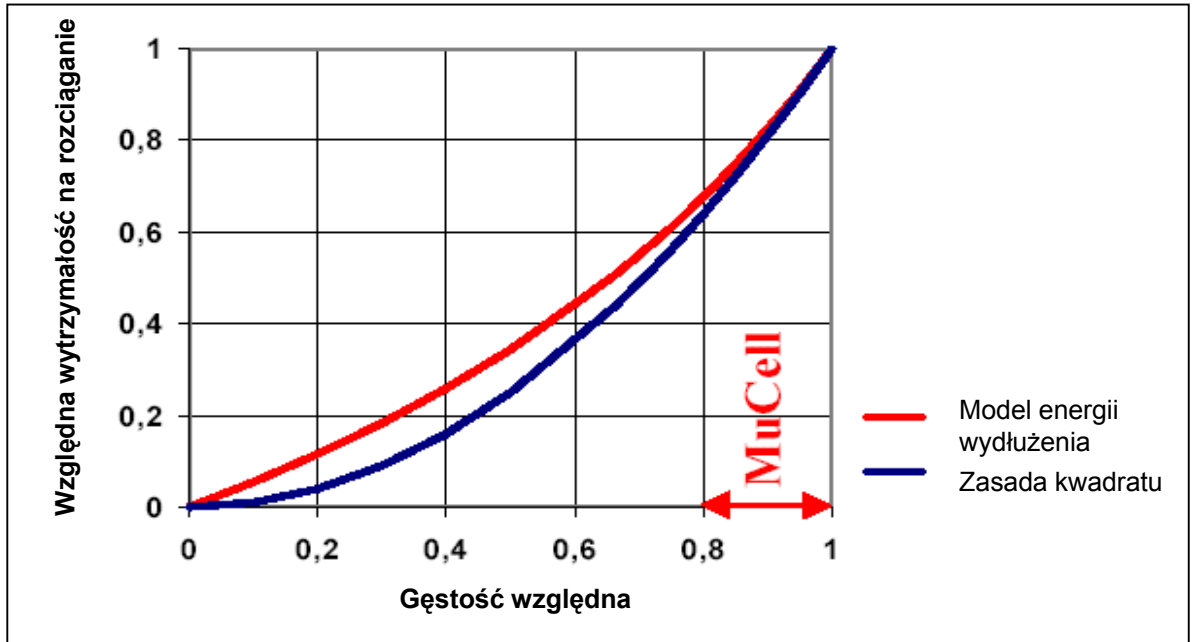
## 2) Wytrzymałość na rozciąganie

El-Hadek i Tippur [HAD 02] opracowali model energii wydłużenia do opisanego pianek z porami kulistymi. Względne wytrzymałości na rozciąganie przewidywane zgodnie z tym modelem oraz uzyskane przy zastosowaniu modelu MT dla pianek mikrokomórkowych są przedstawione na rysunku 4. Wyniki te są porównywane z wynikami otrzymanymi z następującej zasady kwadratu:

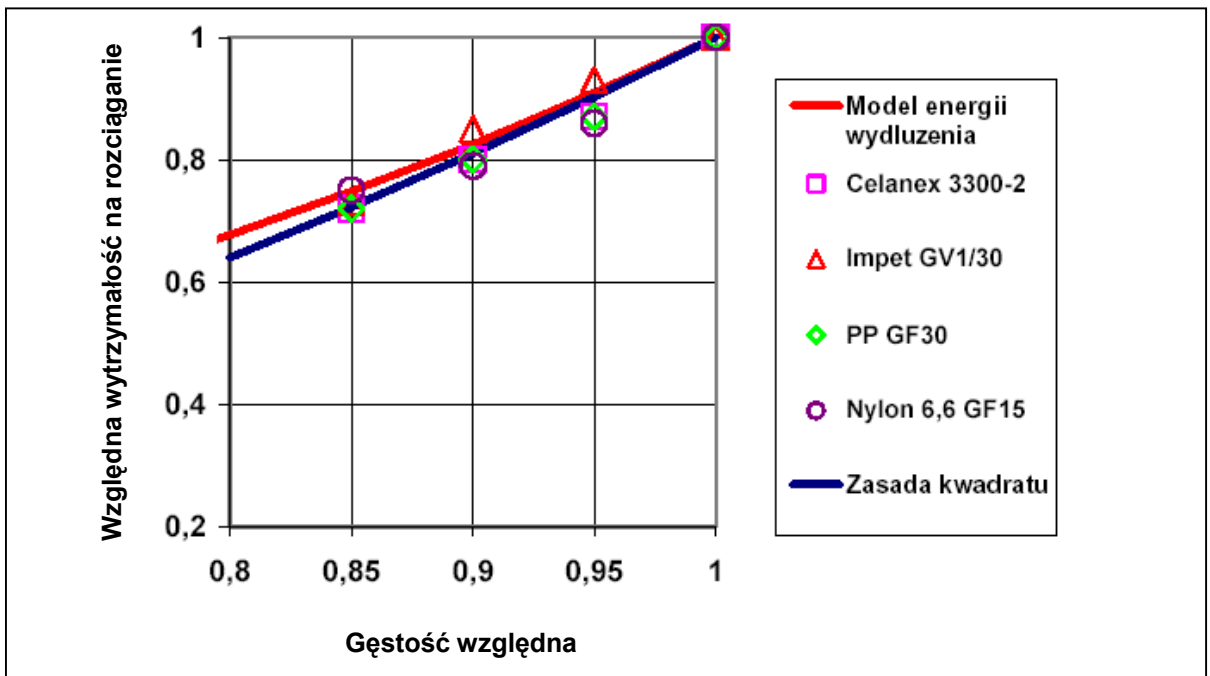
$$(II) Z_{wzgl} = \rho_{wzgl}^2$$

gdzie  $Z_{wzgl}$  i  $\rho_{wzgl}$  oznaczają względną wytrzymałość na rozciąganie oraz gęstość względną.

Poniżej gęstości względnych wynoszących ok. 0,8 stwierdza się wyniki wyraźnie odbiegające od siebie.



Rys. 4. Względne wytrzymałości na rozciąganie pianek mikrokomórkowych według modelu energii wydłużenia i empirycznej zasady kwadratu

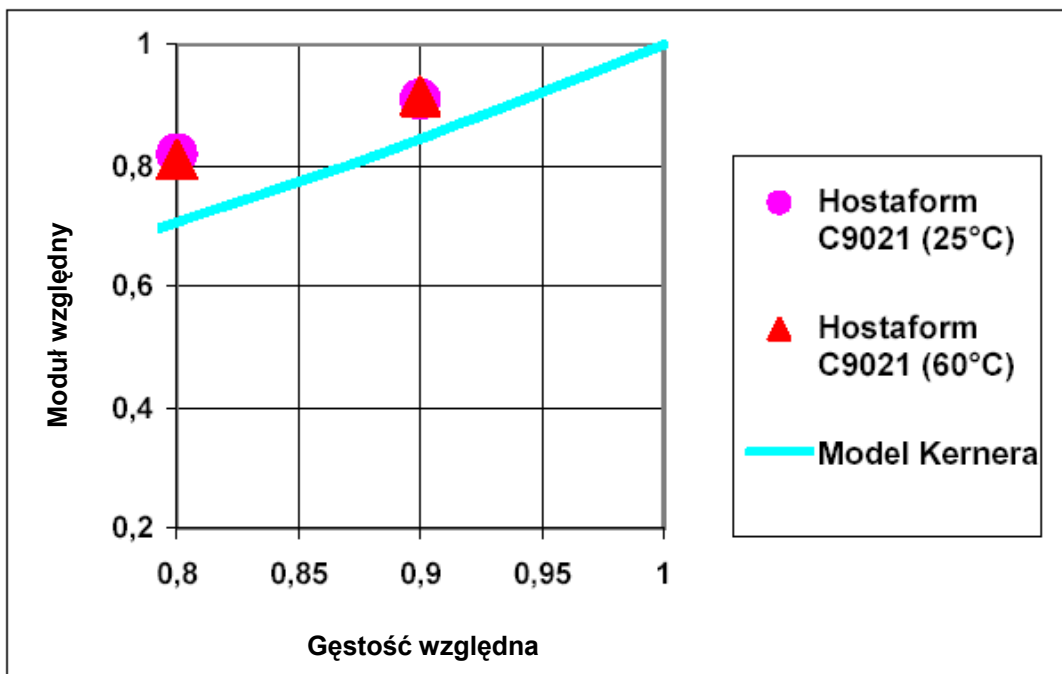


Rys. 5. Możliwość stosowania zasady kwadratu dla wytrzymałości na rozciąganie pianek mikrokomórkowych dla gęstości względnych powyżej 0,8

Rysunek 5 pokazuje, że wartości przewidywane na podstawie modelu energii wydłużenia doskonale opisują wyniki eksperymentalne. W zakresie gęstości względnych istotnych dla metody MuCell także dane wyliczone z zasady kwadratu dobrze zgadzają się z rzeczywistością. Zatem można tutaj stosować zasadę kwadratu.

### 3) Moduł sprężystości poprzecznej

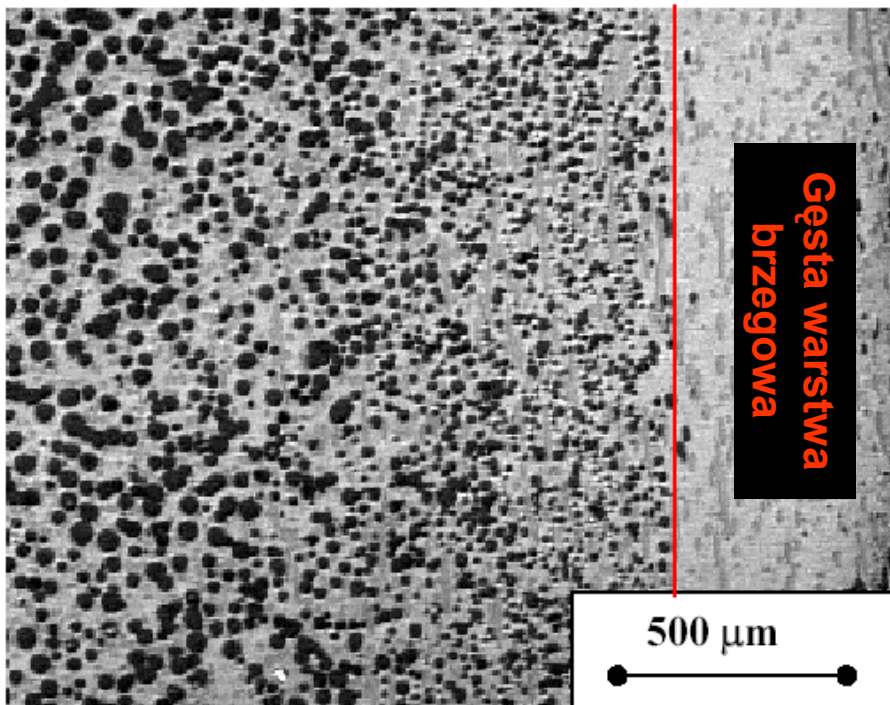
Na rysunku 6 porównywane są wyniki uzyskane według modelu Kenera [MAD 89] służącego do przewidywania modułów sprężystości poprzecznej z wynikami doświadczalnymi. Zauważalne, wyraźne odchyłki nie świadczą jednak o niemożliwości stosowania modelu Kenera. Wskazują na to poniższe rozważania.



Rys. 6. Porównanie eksperymentalnie otrzymanych wartości względnych modułów sprężystości poprzecznej tworzywa Hostaform z przewidywaniami modelu Kenera

Pianki mikrokomórkowe wytwarzane metodą MuCell charakteryzują się gęstymi strefami brzegowymi (rys. 7). Istnieje zatem spieniony rdzeń, który posiada wyraźnie niższy moduł niż strefa brzegowa.

Dlatego taka struktura sandwichowa (wielowarstwowa) powinna wykazywać wyraźnie wyższy moduł sprężystości poprzecznej w porównaniu z pianką jednorodną, co potwierdzają poniższe wyniki.

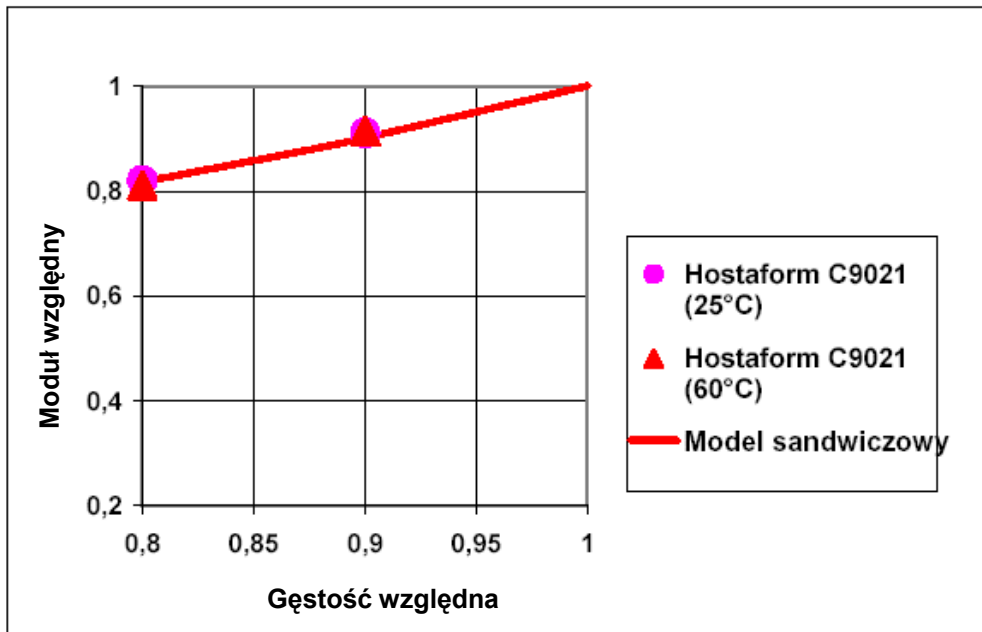


Rys. 7: Mikrokomórkowe tworzywo Celanex 3300-2 (szlif mikroskopowy)

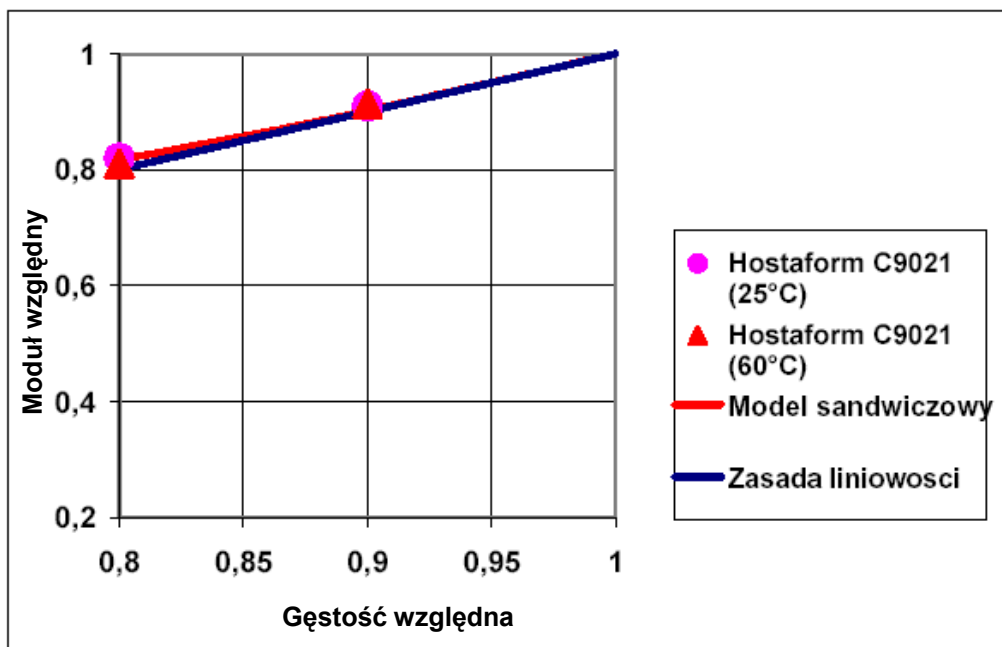
Struktura przedstawiona na rysunku 7 może być opisana modelem przy założeniu, że strefa brzegowa składa się całkowicie z materiału osnowy [SKI 72]. Moduł sprężystości poprzecznej rdzenia można wówczas obliczyć przy pomocy modelu Kenera. Z modułów sprężystości poprzecznej rdzenia i strefy brzegowej uzyskuje się następnie współczynnik struktury sandwichowej, a z niego moduł sprężystości poprzecznej całej pianki.

Wyniki takiego obliczenia struktury sandwichowej dla tworzywa Hostaform pokazuje rys. 8. Dane doświadczalne doskonale zgadzają się z danymi modelowymi. Tym samym udowodniono, że model Kenera może być stosowany do opisywania pianek mikrokomórkowych.





Rys. 8. Porównanie uzyskanych doświadczalnie wartości względnego modułu sprężystości poprzecznej tworzywa Hostaform z przewidywaniami modelu sandwichowego



Rys. 9. Możliwość stosowania zasady liniowości dla modułów sprężystości poprzecznej mikrokomórkowego tworzywa Hostaform

Rysunek 9 pokazuje, że przewidywania modelu sandwichowego dobrze zgadzają się z przewidywaniami prostej zasady liniowości według zależności (III).

$$(III) G_{wzgl} = \rho_{wzgl}$$

gdzie  $G_{wzgl}$  i  $\rho_{wzgl}$  oznaczają względny moduł sprężystości poprzecznej i gęstość względną. Wynik ten jest uzyskiwany całkiem ogólnie dla modułów sprężystości poprzecznej detali formowanych wtryskowo ze spienianiem metodą fizyczną [HÖR]. Zasada liniowości (III) może być zatem stosowana do szacowania modułów sprężystości poprzecznej.

4) Właściwości mechaniczne mikrokomórkowych pianek wynikają z prostych zasad

Metodą MuCell można wytwarzać techniczne wypraski wtryskowe o stopniach spienienia do 20 %. W tym zakresie istnieje liniowa zależność pomiędzy względnymi modułami sprężystości poprzecznej i gęstościami względnymi. Natomiast zależność modułów sprężystości wzdłużnej przy rozciąganiu oraz wytrzymałości na rozciąganie od oszczędności ciężaru jest funkcją drugiego stopnia. Niezawodność tych prostych zasad została udowodniona przez porównanie zarówno z danymi doświadczalnymi jak i z wynikami modeli fizycznych. Te proste zależności pomagają użytkownikom w rozpoznawaniu potencjału oszczędności oferowanego przez technologię MuCell.

## 5) Literatura

[DED 73]	Dederichs	Z Physik	259 (1973) 103
[DVO 99]	Dvorak	J Mech Phys Solids	47 (1999) 899
[HAD 02]	El-Hadek	J Mater Sci	37 (2002) 1649
[HÖR 02]	Hörr	SKZ Seminar	November 2002
[JAC 00]	Jacobsen	ANTEC	(2000) 1929
[MAD 89]	Madigosky	Polym Mater Sci Eng	60 (1989) 489
[MOO 74]	Moore	J Cell Plast	10 (1974) 135
[SCH 01]	Schjodt-Thomsen	Polym Eng Sci	41 (2001) 752
[SIE 83]	Siegmann	Polym Compos	4 (1983) 113
[SKI 72]	Skinner	VDI Berichte	182 (1972) 155
[STE 99]	Steinbichler	Österr Kunst Zeitschr	30 (1999) 210
[ZHE 98]	Zheng	Key Eng Mat	145 (1998) 479

## 6) Materiały

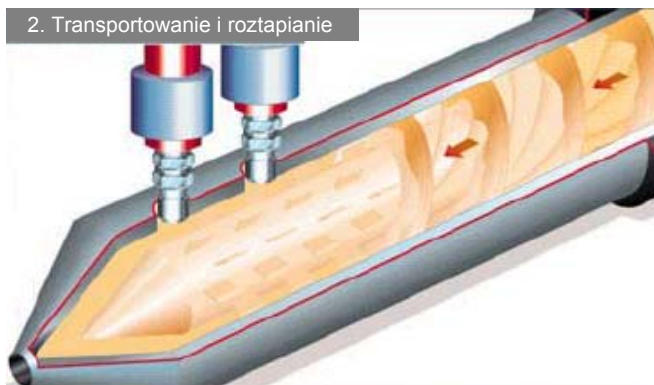
Celanex 2300 GV1/30 i Celanex 3300-2 to politereftalan butylenu (PBT) wzmocniony 30% włókna szklanego. Fortron 1140L4 to polistyren (PPS) wzmocniony 40% włókna szklanego. Hostaform C9021 to polioksymetylen. Impet GV1/30 to polietylen (PET) zawierający 30% włókna szklanego. Nylon 6 GF 33 i Nylon 6,6 GF 15 to poliamidy wzmocnione 33% i 15% włókna szklanego. PP GF 30 to polipropylen zawierający 30% włókna szklanego.

1. Wprowadzanie granulatu



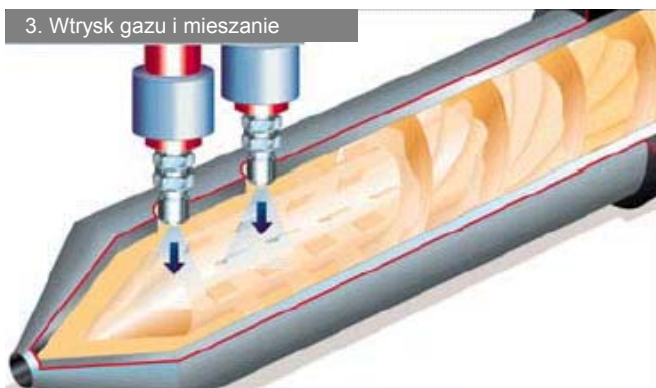
Obracający się ślimak wciąga granulaty z lejki nasypowego materiału i transportuje go w kierunku wierzchołka ślimaka.

2. Transportowanie i roztopianie



Przy równoczesnym podgrzewaniu następuje plastyfikacja i homogenizacja tworzywa sztucznego.

3. Wtrysk gazu i mieszanie



Gaz jest wtryskiwany przez dyszę do roztopionego tworzywa sztucznego i mieszany z nim.

4. Wtrysk do wnętrza formy



Będąca pod ciśnieniem mieszanina tworzywa sztucznego i gazu jest wtryskiwana do formy wtryskowej i we wnętrzu formy tworzą się małe, równomiernie rozmieszczone pęcherzyki gazu.