

Imię i nazwisko:  Piotr Borsuk	Badania ultradźwiękowe procesu wiązania w masach samo i szybkoutwardzalnych	Data oddania sprawozdania:
Kierunek TP 4.0  Rok II  Grupa 1 Wydział WO		Ocena

### Wstęp teoretyczny

Ultradźwięki są powszechnie stosowane w wielu technologiach na całym świecie, służąc celom diagnostycznym w różnych dziedzinach przemysłu, elektronice, telekomunikacji oraz inżynierii materiałowej. Ich zastosowania stale się rozwijają, przyczyniając się do modernizacji przemysłu.

Ultradźwięki znajdują zastosowanie w dwóch głównych obszarach: biernym i czynnym, w zależności od ich oddziaływania na środowisko. W biernych zastosowaniach dominują spektroskopia i defektoskopia ultradźwiękowa, medyczna diagnostyka ultradźwiękowa oraz hydrolokacja. Coraz częściej używa się ultradźwięków do badania kinetyki utwardzania różnych substancji. W czynnych zastosowaniach ultradźwięki są wykorzystywane do koagulacji i dyspergowania, medycznej terapii ultradźwiękowej, kawitacji, wywoływania sonoluminescencji czy reakcji chemicznych. Inne zastosowania obejmują rozkruszanie i formowanie materiałów twardych, spajanie, lutowanie, mycie, ekstrakcję i suszenie substancji .

Fale ultradźwiękowe klasyfikuje się ze względu na kierunek drgań cząsteczek ośrodka w stosunku do kierunku propagacji fali. Wyróżniamy:

- Falę podłużną,
- Falę poprzeczną,
- Falę powierzchniową (Rayleigha),
- Falę podpowierzchniową,
- Falę płytową (Lamba),
- Falę Love'a.

W badaniach najczęściej stosuje się fale podłużne, poprzeczne i powierzchniowe. Fala podłużna przemieszcza się w każdym ośrodku materialnym, powodując naprzemienne zagęszczanie i rozrzedzanie cząsteczek oraz oscylacyjne zmiany objętości ośrodka. Fala poprzeczna, zwana także ścienną, nie zmienia gęstości ośrodka, a jej cząstki drgają prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali, powodując naprężenia styczne. Fala powierzchniowa (Rayleigha) rozchodzi się na powierzchni ciał stałych, wnikając na głębokość około jednej długości fali. Cząstki w tej fali drgają w dwóch płaszczyznach, tworząc smukłe elipsy. Fale

powierzchniowe charakteryzują się najmniejszą prędkością spośród trzech wymienionych rodzajów .

Ciała stałe są jedynymi ośrodkami, w których mogą rozchodzić się wszystkie rodzaje fal ultradźwiękowych. Wynika to z ich silniejszych wiązań międzyatomowych w porównaniu z cieczami i gazami. Struktura sieci krystalicznej ciał stałych ma istotny wpływ na prędkość propagacji fal ultradźwiękowych. W ciałach anizotropowych, takich jak kryształy, prędkość fali zależy od kierunku jej rozchodzenia się. Natomiast w ciałach izotropowych, podobnie jak w cieczach, prędkość fali ultradźwiękowej jest jednakowa we wszystkich kierunkach. Jest to spowodowane bezpostaciową strukturą sieci, przypominającą strukturę cieczy, lub polikrystaliczną budową, gdzie ziarna krystaliczne są rozmieszczone przypadkowo.

W zagęszczonej masie formierskiej możemy wyróżnić trzy rodzaje składników:

1. **Ziarna osnowy:**
  - Posiadają wysoką i niezmienną w czasie sprężystość.
2. **Spoiwo chemiczne:**
  - Podczas sporządzania charakteryzuje się małą sprężystością i dużą plastycznością.
  - Po związaniu sprężystość spoiwa jest wielokrotnie wyższa niż na początku.
3. **Gazy:**
  - Wypełniają przestrzenie międzyziarnowe.
  - Nie nadają cech sprężystych masie, ale mogą uczestniczyć w propagacji fali.

Masa formierska jest wielofazowym komponentem o cechach lepkosprężystych. Podczas wiązania, właściwości sprężyste masy podlegają ciągłym zmianom. W miarę utwardzania lepkość spoiwa rośnie, aż w końcowej fazie procesu utwardzania spoiwo przechodzi w stan stały.

Dla mas ze spoiwami chemicznymi, podczas utwardzania szybkość zmian właściwości reologicznych masy nie jest stała i jest związana z kinetyką reakcji chemicznej między spoiwem a utwardzaczem. Przebieg tej reakcji zależy od chwilowych stężeń reagentów oraz od zdolności masy do odprowadzenia produktów gazowych powstałych w trakcie reakcji. W wyniku tych procesów, zdolność masy do przenoszenia dynamicznych odkształceń wywołanych działaniem sił zewnętrznych ciągle się zmienia. Odkształcenia mogą przyjmować postać fali sprężystej, której przemieszczanie opisują równania ruchu falowego.

Składniki masy formierskiej, będącej ośrodkiem porowatym, można podzielić na:

- **Sprężyste.**
- **Lepkie.**

Masa formierska ze spoiwem chemicznym jest ośrodkiem ziarnistym o cechach tworzywa lepko-sprężystego, przy czym właściwości te podczas procesu utwardzania ulegają ciągłym zmianom. Właściwości takiego ośrodka można rozpatrywać jedynie w ujęciu makro.

Równania reologiczne ciał budowane są na bazie modułów odpowiadających różnym typom ośrodków:

- **Sprężyste:** Ciało Hooke'a.

- **Lepkie:** Ciało Newtona.
- **Plastyczne płynięcie:** Ciało Saint Venanta.

Dla masy formierskiej ze spoiwami chemicznymi, do opisu właściwości reologicznych należy posłużyć się złożonym modelem mechanicznym, który umożliwia interpretację zarówno pełzania, jak i relaksacji sztywnego szkieletu masy. Czasami modele te są bardziej złożone i uwzględniają plastyczne odkształcenia ośrodka.

## Cel ćwiczenia

Zbadanie wpływu procesu utwardzania na prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w masach samoutwardzalnych oraz ocena stopnia utwardzenia masy na podstawie zmierzonych danych.

## Ćwiczenie 1

### Przebieg ćwiczenia

1. Przygotowanie mieszanki żywicznej.

Dodano utwardzacz zawierający związki chemiczne aktywujące reakcje polimeryzacji. Do 1kg piasku dodano 1,2% (12 gram) żywicy o objętości  $1,2\text{g/cm}^3$ , która po pewnym czasie w obecności utwardzacza reaguje i utwardza się tworząc stałą strukturę.

Składniki dokładnie zmieszano, zapewniając jednolitą konsystencję mieszanki. Mieszaninę wsypało do specjalnego pojemnika i zagęszczono, aby uzyskać odpowiednią gęstość próbki.

2. Ocena komputerowa.

Specjalne oprogramowanie przeanalizowało, że fala przeszła przez próbkę o długości 5 cm w czasie 143 mikrosekund. W miarę utwardzania się masy zmieniały się jej właściwości akustyczne, co wpływało na prędkość propagacji fali ultradźwiękowej.

## Ćwiczenia 2

### Przebieg ćwiczenia

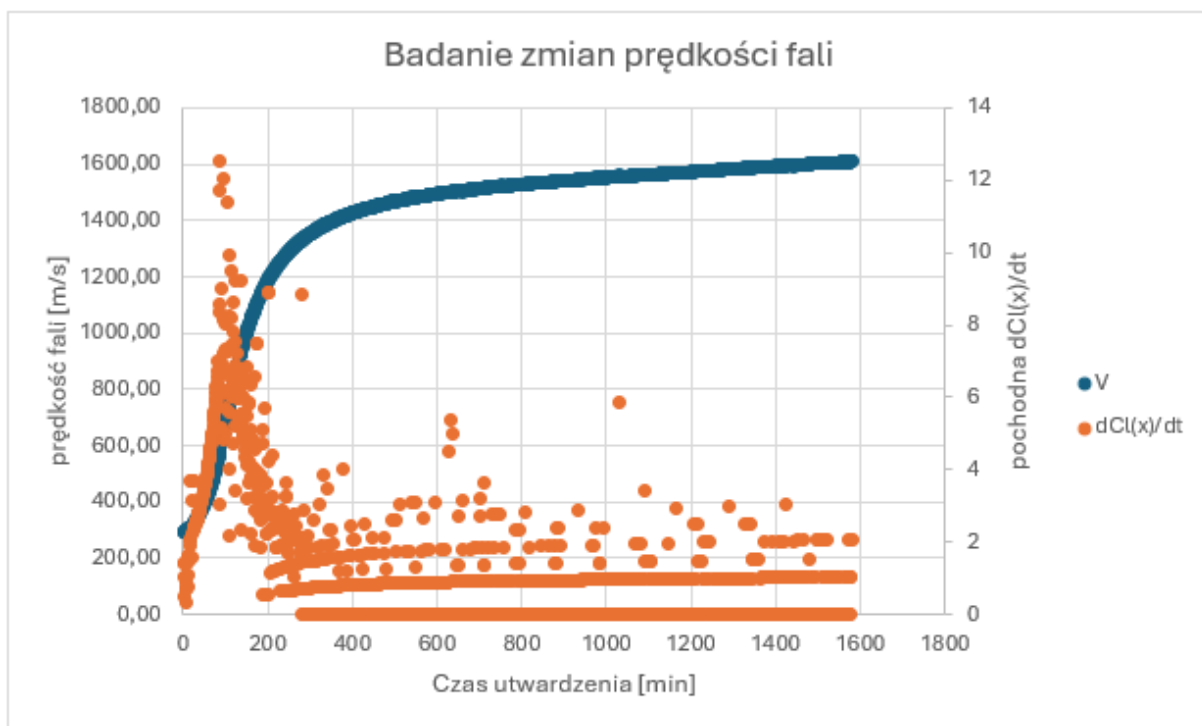
1. Przygotowanie mieszanki

Do 2600 g piasku dodano 3% (78 g) szkła wodnego, które pełni rolę wzmacniającą strukturę materiału. Szkło wodne reaguje z piaskiem w obecności utwardzacza, tworząc sieć krzemionkową, która dodatkowo wzmacnia masę. Następnie dodano utwardzacz do mieszanki piasku i szkła wodnego, co zainicjowało reakcję polimeryzacji żywicy i utwardzenie masy. Całą mieszankę wsypało do specjalnej skrzynki w kształcie prostopadłościanu, którą następnie uszczelniono.

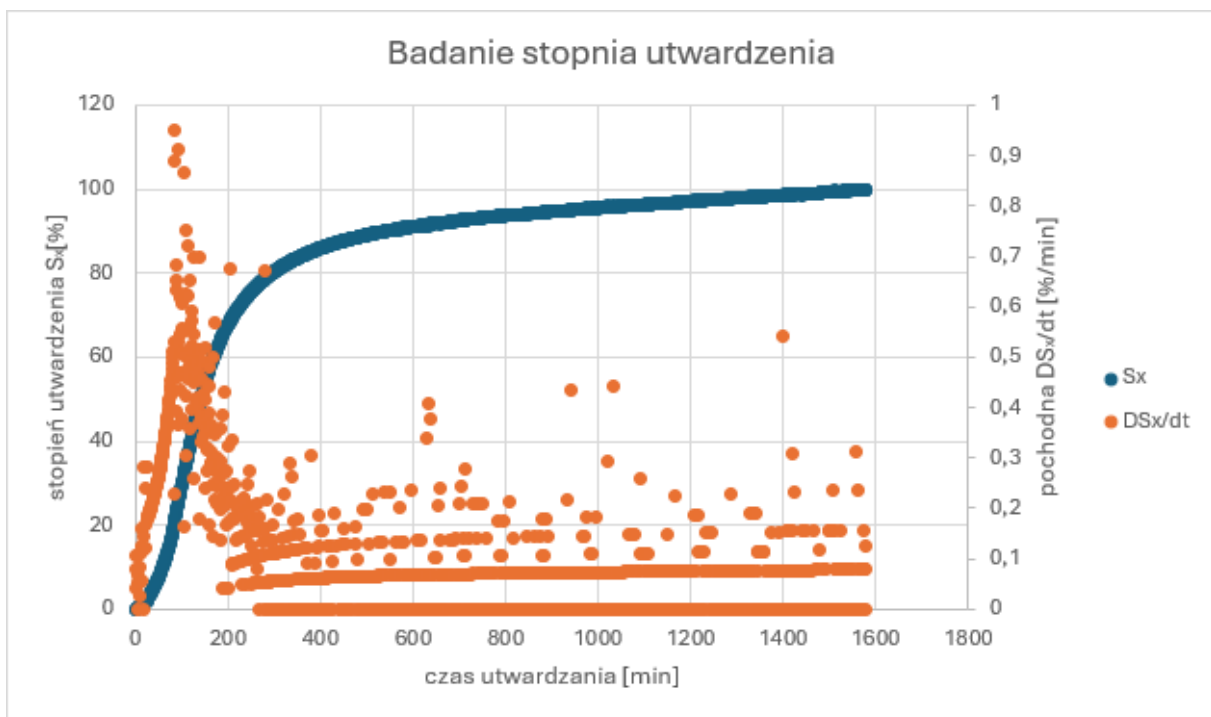
Działanie gazu miało na celu zwiększenie gęstości masy oraz zapewnienie lepszej penetracji utwardzacza, co przyspieszyło proces utwardzania i poprawiło właściwości mechaniczne otrzymanego rdzenia.



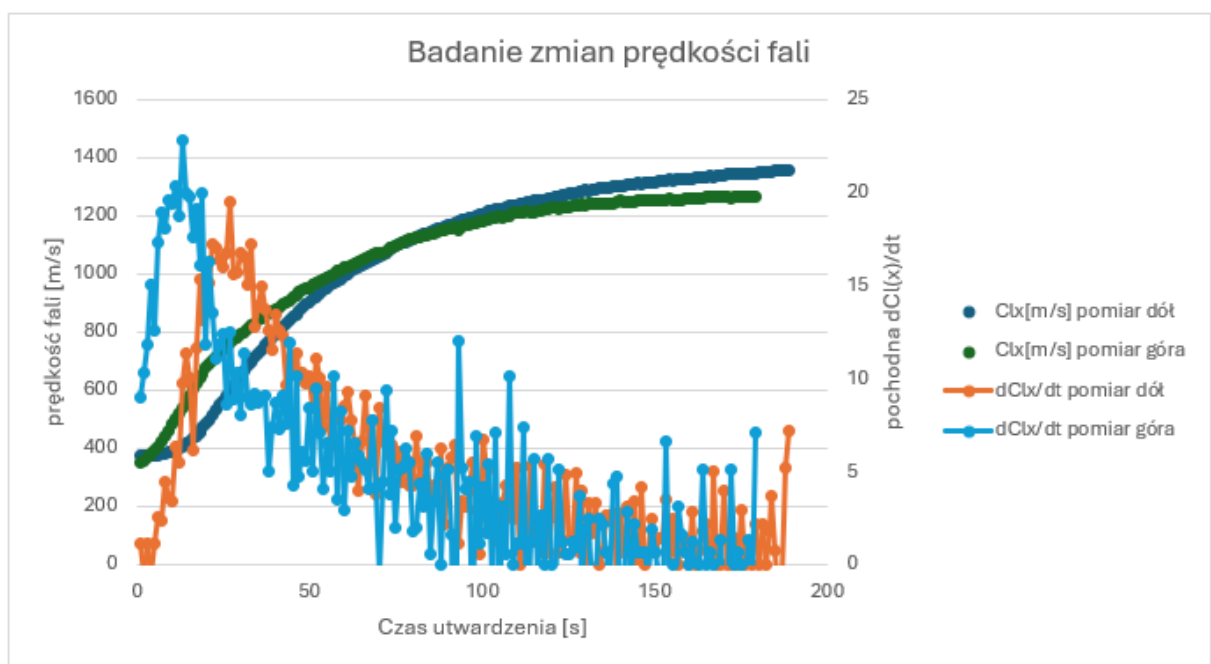
Zdj. 1. Sprzęt do utwardzania gazowego



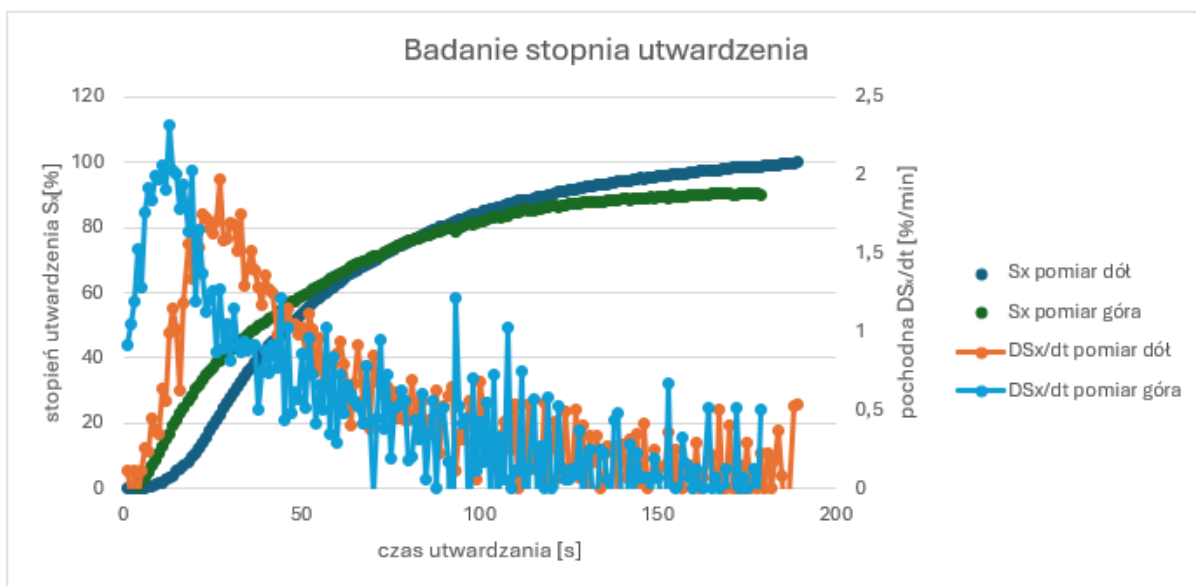
Wykres 1. Kinetyka procesu utwardzania dla SMS (komora U30%)



Wykres 2. Przebieg procesu utwardzania dla SMS (Komora U30%)



Wykres 3. Kinetika procesu utwardzania dla SMSZ



Wykres 4. Przebieg procesu utwardzania dla SMSZ

### Wnioski

Proces utwardzania dla SMSZ początkowo przebiegał szybciej przy pomiarze górnym, jednakże z czasem pomiar dolny wykazywał wyższy stopień utwardzenia. Kinetyka utwardzania SMSZ była zbliżona do tej przedstawionej na wykresie stopnia utwardzania. Natomiast w przypadku SMS (w komorze o wilgotności 30%), po 1600 minutach uzyskano niemal 100% stopień utwardzenia masy.