

# Ćwiczenie: „Oznaczanie cech wytrzymałościowych tworzyw sztucznych przy statycznym rozciąganiu”

## 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z charakterem przebiegów zależności naprężenia od odkształcenia podczas badania jednoosiowego rozciągania różnych typów materiałów polimerowych oraz oznaczenie ich parametrów wytrzymałościowych.

## 2 Określenie podstawowych zagadnień

Badanie jednoosiowego rozciągania jest najbardziej podstawową metodą stosowaną do oznaczania właściwości mechanicznych materiałów. W badaniach materiałowych ogólnie stosuje się różnorakie próbki mające postać prętów lub beleczek o przekrojach okrągłych lub prostokątnych, najczęściej zaopatrzone na końcach w uchwyty pozwalające na dobre zamocowanie próbki w maszynie wytrzymałościowej. W szczególnych przypadkach badań prowadzonych na gotowych wyrobach, lub próbkach uzyskanych poprzez pobranie z gotowych wyrobów, próbki mogą mieć inne kształty. Kształt próbki musi w ogólności umożliwiać dokonanie pomiaru jej odkształcenia podczas badania oraz uchwycenie próbki w maszynie wytrzymałościowej.

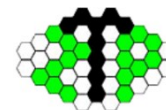
### Maszyny wytrzymałościowe

Do pomiarów właściwości mechanicznych materiałów stosuje się maszyny wytrzymałościowe o często znacznie różniących się od siebie konstrukcjach, rozwiązaniach technicznych i zasadach działania układu pomiarowego, a przede wszystkim rozmiarach i zakresach pomiarowych. Ponadto na rynku istnieje wiele urządzeń przeznaczonych do specyficznych zastosowań. Tym niemniej w przeważającej części maszyny użytkowane w laboratoriach należą do grupy uniwersalnych maszyn wytrzymałościowych, umożliwiających badania materiałów przy różnych typach odkształceń, najczęściej jednoosiowym rozciąganiu, ścisnaniu i zginaniu, czasem dodatkowo dwuosiowym rozciąganiu i skręcaniu. Ilość i rodzaj typów odkształceń możliwych do badania na danej maszynie zależy najczęściej od dostępności i posiadania odpowiednich uzupełniających elementów montażowych, takich jak uchwyty lub urządzenia zmiany kierunku ruchu.

Możliwości bramowej maszyny wytrzymałościowej charakteryzują przede wszystkim trzy cechy: maksymalne dopuszczalne siły jakie może przenieść brama i trawersa, maksymalna droga jaką może przebyć trawersa oraz maksymalna prędkość poruszania się trawersy. Cechy te decydują o przydatności maszyny do konkretnych celów. Niemniej istotna jest kwestia możliwości programowania i sterowania maszyną i urządzeniami dodatkowymi oraz możliwości zapisu mierzonych danych. Większość maszyn uniwersalnych posiada śrubowy napęd trawersy. Rozwiązanie to pozwala na precyzyjne sterowanie prędkością, niemniej jednak poważnie ogranicza maksymalne wartości tej prędkości i szybkość zmiany kierunku. Maszyny o napędzie hydraulicznym tłokowym są pozbawione tej wady i nadają się do prowadzenia badań dynamicznych. Często niezmiernie przydatnym urządzeniem dodatkowym w maszynach wytrzymałościowych jest komora termiczna lub klimatyczna.

### Pomiar siły

Najczęściej obecnie spotykaną metodą pomiaru siły podczas badania na maszynie wytrzymałościowej jest pomiar za pomocą głowicy tensometrycznej. Budowy tego typu głowic są skomplikowane, a w ogólności pomiar siły polega na mierzeniu sprężystych odkształceń wewnętrznych elementów głowicy za pomocą odpowiednio umieszczonych i skompensowanych tensometrów elektrycznych. Każdą głowicę charakteryzują przede wszystkim dwa parametry: maksymalna wartość mierzonej siły oraz dokładność pomiaru. Zazwyczaj zwiększenie zakresu wartości mierzonej siły pociąga



za sobą zmniejszenie dokładności pomiaru. Głowice są osobnym podzespołem, zazwyczaj zamocowanym w maszynie w sposób umożliwiający ich szybką i łatwą wymianę. Szybka wymiana głowic umożliwia zatem szybką zmianę zakresu i dokładności pomiaru. W starszych typach maszyn powszechnym rozwiązaniem układu pomiaru siły był wahadłowy mechanizm grawitacyjny. W mechanizmie tym zmianę zakresu pomiarowego dokonuje się poprzez wymianę lub dodawanie obciążników.

#### Pomiar odkształcenia

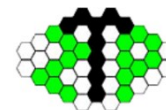
Pomiar odkształcenia próbki w uniwersalnych maszynach wytrzymałościowych jest trudny i często dokonywany jest w sposób obarczający wynik badania dużym błędem. Najbardziej podstawową i najtańszą metodą nie wymagającą posiadania kosztownego wyposażenia dodatkowego jest pomiar drogi przebytej przez trawersę maszyny podczas badania. Metoda ta pozwala jednak tylko na bardzo zgrubne określenie odkształcenia próbki, gdyż oprócz odkształcenia samego właściwego odcinka pomiarowego sumuje także odkształcenia pozostałych części próbki – w tym przede wszystkim uchwytów dla próbek znormalizowanych – oraz zmiany położenia związane z wysuwaniem się próbki z uchwytów maszyny zakładając, że składowe te są pomijalnie małe. Tym niemniej w większości przypadków założenie takie jest błędne. W dokładnych pomiarach odkształcenia absolutnie konieczne jest stosowanie dodatkowych urządzeń – ekstensometrów. Istnieje wiele typów ekstensometrów różniących się przeznaczeniem i zasadą działania. W badaniach mechanicznych tworzyw sztucznych stosuje się w zależności od celu eksperymentu i rodzaju badanego materiału ekstensometry małych lub dużych odkształceń. Ekstensometry mechaniczne zawsze posiadają dwie szczęki, zapewniające minimalną powierzchnię styku z próbka i służące do uchwycenia końców odcinka pomiarowego próbki. Od tej chwili rejestrowane są zmiany długości odcinka próbki pomiędzy szczękami ekstensometru i na tej podstawie obliczane są odkształcenia. Niekiedy stosuje się kilka ekstensometrów równocześnie, przy czym każde z urządzeń mierzy zmiany długości w innej osi. Można w ten sposób wyznaczyć na przykład współczynniki Poisson'a, czy zmianę objętości materiału podczas odkształcania. Ekstensometry małych odkształceń to z reguły profile na których końcu sztywno zamocowane są szczęki, a w których pod wpływem zmiany geometrii układu w czasie pomiaru pojawiają się naprężenia zginające. Naprężenia te mierzone są bądź za pomocą piezoelementu bądź tensometrycznie. Dokładność tego typu urządzeń jest z reguły bardzo duża. Ekstensometry te stosuje się przy badaniach tworzyw o małym odkształceniu przy zerwaniu lub przy pomiarze w małym zakresie odkształceń, np. w celu zmierzenia modułu tworzywa. Dla elastomerów i tworzyw o dużym wydłużeniu do zerwania konieczne jest używanie ekstensometrów dużych odkształceń. Szczęki ekstensometrów dużych odkształceń mogą poruszać się niezależnie od siebie i prowadzone są po sztywnym i umocowanym sztywno w maszynie torze – najczęściej pręcie. Linkowy mechanizm przekazuje ruch do elektromechanicznego układu pomiarowego. Dokładność ekstensometru dużych odkształceń, jest z reguły mała – 1% lub więcej.

Ponadto istnieją optyczne, bezkontaktowe urządzenia ekstensometryczne

Z zastosowaniem ekstensometrów wiąże się szereg zagadnień technicznych, jak poślizg szczęk po powierzchni próbki, obecność dodatkowych sił działających na próbkę, bezwładność części mechanicznych, wielkość pola styku z próbka i powiększanie się pierwotnej powierzchni styku podczas odkształcania. Z drugiej jednak strony dzięki ekstensometrom eliminowane są o wiele bardziej znaczące zjawiska deformacji i przemieszczania uchwytów próbek podczas badania. Użycie ekstensometrów pozwala uzyskać dokładniejszy zapis przebiegu zależności naprężeń od odkształceń niż zapis uzyskany z trawersy maszyny, a w przypadku odkształceń w osiach prostopadłych do osi działania maszyny jest jedynym technicznym środkiem uzyskania tego zapisu.

#### Próbki do badań

Próbki używane do badań właściwości mechanicznych materiału przy jednoosiowym rozciąganiu określone są normami dla większości typów materiałów. Dla tworzyw metalicznych stosowane są próbki o przekrojach okrągłym i prostokątnym, z uchwytami lub bez. Dla tworzyw sztucznych stosowane są o przekroju prostokątnym o geometrii uchwytów i wymiarach zależnych od tworzywa, tzn. termoplastów i tworzyw sieciujących o wysokim module lub elastomerów i elastomerów termoplastycznych wykazujących elastyczność kauczukową. Należy zapoznać się z geometrią przeznaczeniem



poszczególnych typów próbek poprzez zapoznanie się z treścią następujących norm:

PN-EN ISO 527-1

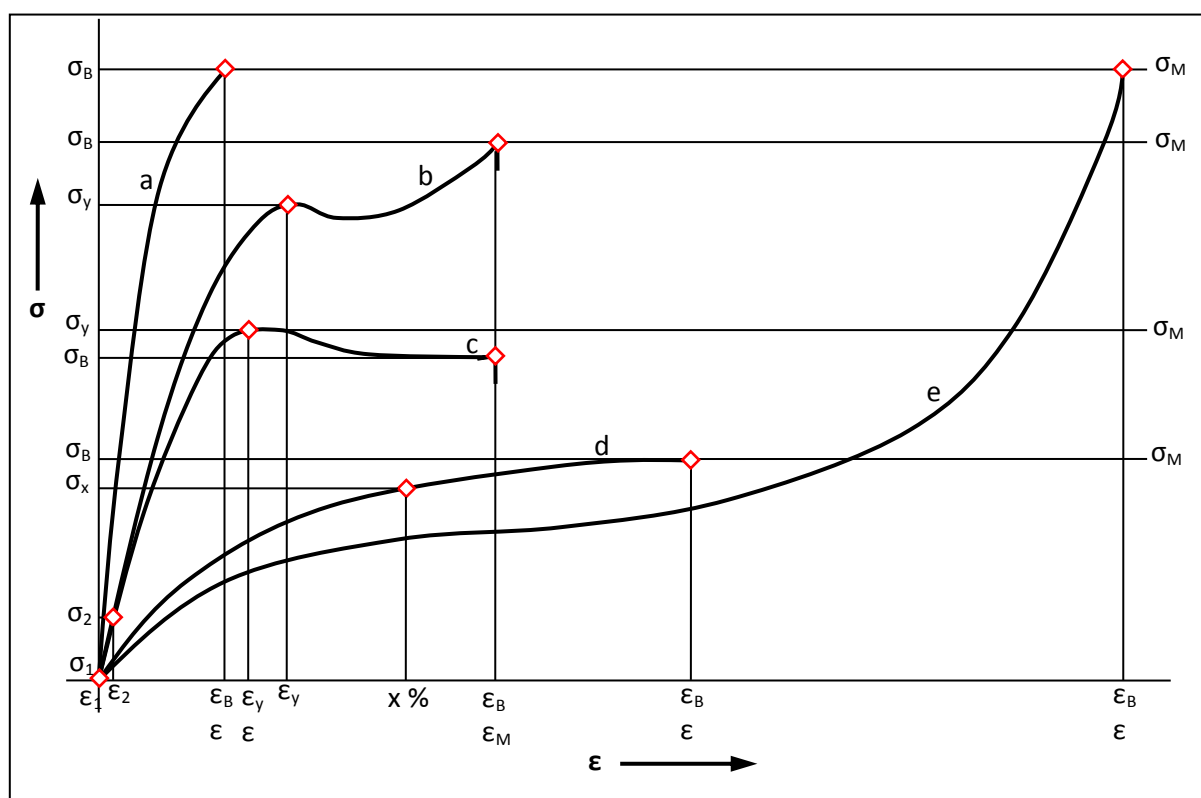
PN-EN ISO 527-2

PN-EN ISO 527-3

PN-ISO 37

Zastosowanie metody jednoosiowego rozciągania

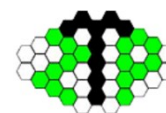
Ze względu na prostotę przeprowadzenia eksperymentu jednoosiowego rozciągania, oraz na rachunkową łatwość obliczania z danych eksperymentalnych wielkości fizycznych charakteryzujących materiał, badanie to jest najszerzej stosowane dla określenia w pierwszym przybliżeniu cech materiału i dostarczenia wielkości charakterystycznych pozwalających na dokonanie porównań z innymi materiałami lub sklasyfikowanie. Należy jednak zaznaczyć, że pozorna łatwość uzyskania tych wielkości wiąże się z przyjęciem szeregu uproszczeń i zaakceptowaniem niedokładności. Tym niemniej w praktyce inżynierskiej dla najbardziej ogólnego scharakteryzowania lub dla celów doboru materiału do zastosowań w pierwszej kolejności rozważa się najczęściej wielkości możliwe do uzyskania w próbie rozciągania. Obszerne zasoby tych danych w literaturze zapewniają pewien zbiór odniesienia niezbędny dla kwalifikowania przedmiotu badań lub doboru materiału dla zastosowań. W próbie statycznego jednoosiowego rozciągania materiału polimerowego wyznaczyć można następujące wielkości oznaczone na krzywych rozciągania na rysunku 1:



Rysunek 1. Wielkości wyznaczone podczas próby statycznego jednoosiowego rozciągania materiałów polimerowych. (Za PN-EN ISO 527-1:1996). Schematyczne krzywe odpowiadają odpowiednio materiałom: a) tworzywa kruche, b) i c) tworzywa wykazujące granicę plastyczności, c) tworzywa nie wykazujące granicy plastyczności, d) elastomery.

- i. Granica plastyczności  $\sigma_y$  (MPa) – pierwsze naprężenie, przy którym wzrost wydłużenia nie powoduje przyrostu naprężenia.

UWAGA: Dla wielu materiałów polimerowych zjawiska odkształcania plastycznego i sprężystego zachodzą równocześnie w niepomijalnej skali również poniżej granicy plastyczności. Zatem granica ta ma charakter bardziej umowny niż jej odpowiednik dla



materiałów metalicznych. Jej wartość może istotnie zależeć od prędkości odkształcania.

- ii. Naprężenie przy zerwaniu  $\sigma_B$  (MPa).
- iii. Naprężenie rozciągające przy  $x$  % odkształcenia (MPa) – w przypadku sporządzania wykresu zależności naprężenie-odkształcenie jest odczytywalne z tego wykresu dla dowolnej wartości odkształcenia.
- iv. Wydłużenie względne przy granicy plastyczności  $\varepsilon_y$ .
- v. Wydłużenie względne przy zerwaniu  $\varepsilon_y$ .
- vi. Wydłużenie względne przy maksymalnym naprężeniu rozciągającym  $\varepsilon_M$ .
- vii. Moduł sprężystości przy rozciąganiu obliczany jako stosunek różnicy naprężeń  $\sigma_2 - \sigma_1$  do różnicy odkształceń  $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$  o umownej wartości  $\varepsilon_1 = 0,0005$  oraz  $\varepsilon_2 = 0,0025$ . Moduł posiada wymiar megapaskala.

UWAGA: Wyznaczanie modułu wykonuje się wyłącznie wtedy, gdy ma on sens fizyczny dla danego materiału. Materiał musi wykazywać zachowanie przynajmniej zgrubnie zgodne z prawem Hooke'a. Nie ma fizycznego sensu wyznaczać modułu np. dla elastomerów. Nie ma również sensu wyznaczać modułu, jeżeli materiał wykazuje wahania lub inne nieprawidłowości przebiegu zależności  $\sigma - \varepsilon$  w podanym wyżej zakresie odkształceń. W celu zrozumienia problemu proszę zapoznać się z definicją modułu według prawa Hooke'a.

Dla wyrażenia wydłużenia materiału często zamiennie stosuje się wielkości wydłużenia względnego  $\varepsilon$  i odkształcenia  $\lambda$ . Wielkości te definiuje się jako:

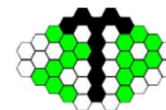
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0}, \left[ \frac{m - m}{m} = 1 \right] \qquad \lambda = \frac{l_1}{l_0}, \left[ \frac{m}{m} = 1 \right].$$

Obie wielkości są zatem bezwymiarowe, a wiąże je zależność:

$$\varepsilon = \lambda - 1.$$

Odkształcenie podawane jako  $\lambda$  jest w praktyce częściej stosowane w obliczeniach właściwości mechanicznych tworzyw polimerowych. Ze względu na to, że wartości liczbowe tych wielkości różnią się dokładnie o 1 (względnie 100%) należy zwracać szczególną uwagę która z nich jest stosowana. Mogą się one okazać szczególnie mylące przy badaniach właściwości elastomerów, gdzie odkształcenia względne osiągają 600 – 700 %.

Istotny wpływ na mierzone wartości zarówno charakterystycznych odkształceń jak i naprężeń ma prędkość odkształcania materiału. Z zalecanymi prędkościami badania należy zapoznać się w wyżej cytowanych normach. Są one różne dla różnych typów materiałów polimerowych. W ogólności przyjęć można, że dla wysokomodułowych tworzyw sztucznych, których odkształcenia przy zerwaniu są małe, zalecane prędkości są również małe. Dla tworzyw o względnie małych wartościach naprężeń i dużych odkształceniach zaleca się duże prędkości odkształcania. Normy podają zalecane wartości prędkości w mm/min dla znormalizowanych próbek o określonej długości odcinka pomiarowego. Przy stosowaniu próbek nieznormalizowanych, lub porównywaniu wyników uzyskanych dla próbek o różnych wymiarach, absolutnie niezbędne jest przeliczenie prędkości odkształcania w **mm/min** na prędkość o wymiarze **1/min** którą uzyskuje się jako wartość  $\Delta\lambda/\Delta t$  lub  $\Delta\varepsilon/\Delta t$ . Można oczywiście podać ją także w **%/min**.



### 3 Metoda wykonania badania

#### 3.1 Rejestracja przebiegu krzywej zależności naprężenia od odkształcenia dla wybranych tworzyw sztucznych z rejestracją siły z głowicy tensometrycznej. Obliczanie wartości charakterystycznych wielkości

##### 3.1.1 Zakres stosowania metody

Metoda ta stosowana jest dla tworzyw sztucznych i tworzyw sztucznych wzmocnionych. Przydatna jest przede wszystkim dla małych zakresów odkształceń i tworzyw o stosunkowo wysokim module.

##### 3.1.2 Opis metody

Badanie polega na rejestracji przebiegu zależności naprężenia od odkształcenia w formie kolumn danych uzyskanych bezpośrednio z maszyny i układu pomiarowego, tj. czasu,  $s$ , oraz siły,  $N$ . Gęstość rejestrowanych danych zależna jest od zadanej częstotliwości próbkowania przez urządzenie rejestrujące. Zebrane dane pozwalają na obliczenie wielkości charakterystycznych dla materiału, z dokładnością zależną od dokładności poszczególnych podzespołów i urządzeń maszyny, błędów statystycznych i odstępstwa od założonych uproszczeń oraz od gęstości danych.

Po umieszczeniu próbki w pneumatycznych uchwytach maszyny rozpoczęta zostaje rejestracja wartości siły mierzonej przez głowicę tensometryczną (faktycznie jest to pomiar oporu elektrycznego → zapoznaj się z zasadą działania układów tensometrycznych), a natychmiast po tym uruchomiony zostaje ruch trawersy maszyny. Prędkość odkształcania wybiera się poprzez dobór odpowiednich kół zębatych w przekładni maszyny. Znając prędkość trawersy maszyny w  $v_{masz}$  **mm/min** i długość odcinka pomiarowego  $l_0$ , **mm**, można obliczyć prędkość odkształcania:

$$v_{odksz} = \frac{v_{masz}}{l_0}, \quad \frac{\frac{mm}{min}}{\frac{mm}{min}} = \frac{1}{min} \quad (3.1)$$

Znając prędkość trawersy maszyny w  $v_{masz}$  **mm/min**, czas  $t$ ,  $s$ , jaki upłynął od chwili uruchomienia trawersy i długość odcinka pomiarowego  $l_0$ , **mm**, można obliczyć drogę przebytą przez trawersę maszyny  $s$ , **mm**, oraz wydłużenie względne  $\varepsilon$  bądź odkształcenie  $\lambda$  próbki:

$$s = v_{masz} \cdot \frac{t}{60}, \quad \frac{mm}{min} \cdot \frac{s}{60} = \frac{mm}{min} \cdot min = mm, \quad (3.2)$$

zatem:

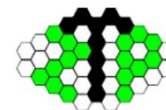
$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{l_0 + s}{l_0} = 1 + \frac{v_{masz} \cdot t}{l_0 \cdot 60}, \quad \frac{\frac{mm}{min} \cdot s}{mm \cdot 60} = \frac{mm \cdot min}{min \cdot mm} = 1, \quad (3.3)$$

oraz:

$$\varepsilon = \lambda - 1 = 1 + \frac{v_{masz} \cdot t}{l_0 \cdot 60} - 1 = \frac{v_{masz} \cdot t}{l_0 \cdot 60}, \quad \frac{\frac{mm}{min} \cdot s}{mm \cdot 60} = \frac{mm \cdot min}{min \cdot mm} = 1. \quad (3.4)$$

Należy zaznaczyć, że dla małych odkształceń i w szczególności próbek z materiałów o wysokim module, zakłada się, że odkształceniu ulega jedynie odcinek pomiarowy próbki, jako że jego pole przekroju jest kilkakrotnie mniejsze, niż pole przekrojów części uchwytowych. Tym niemniej dla większości tworzyw sztucznych założenie takie jest bardzo odległe od rzeczywistych zjawisk, przez co odkształcenia obliczone jak wyżej traktować można jedynie jako przybliżenie. W szczególnym przypadku tworzyw podlegających dużym odkształceniom, zarówno nie uchwycone jak i uchwycone części uchwytów próbek podlegają znacznym odkształceniom we wszystkich kierunkach, w tym w osi





rozciągania, przez co ich udział w całkowitej drodze trawersy jest duży. Matematyczne wyeliminowanie tego typu błędów wymaga założeń upraszczających opis zjawisk i jest specyficzne dla geometrii próbki oraz jej uchwycenia w badaniu. Ze względu na skomplikowanie problem jest tu pominięty.

Znając wartości sił w odpowiednich punktach,  $F$ ,  $N$ , wymiary poprzeczne próbki można obliczyć początkowe pole interesującego przekroju  $d_0$ ,  $\text{mm}^2$ , a następnie wartości naprężeń nominalnych  $\sigma_{nom}$ ,  $\text{MPa}$ , w poszczególnych punktach. Przykładowo dla próbki o przekroju prostokątnym o wymiarach  $a$ ,  $\text{mm}$  i  $b$ ,  $\text{mm}$ :

$$d_0 = a \cdot b, \quad \text{mm} \cdot \text{mm} = \text{mm}^2, \quad (3.5)$$

naprężenie nominalne wynosi zatem:

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{d_0}, \quad \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa}. \quad (3.6)$$

W celu wyznaczenia naprężeń rzeczywistych niezbędna jest znajomość współczynnika Poisson'a,  $\mu$ , dla danego tworzywa. Jego wartość dla tworzyw sztucznych waha się w szerokich granicach wartości 0,3 do 0,5. Tym niemniej nawet jego znajomość dla specyficznego badanego materiału nie gwarantuje możliwości dokładnego wyznaczenia naprężenia w żądanym przekroju, gdyż przewężenie próbek jest w praktyce różne w różnych przekrojach o tej samej wielkości początkowej, zależnie od położenia przekroju na długości próbki. Dodatkową trudnością może być fakt, że współczynniki Poisson'a dla materiałów polimerowych są trudnodostępne w literaturze. W praktyce tylko użycie odpowiedniego zestawu ekstensometrów pracujących w płaszczyźnie prostopadłej do osi wydłużenia pozwala określić faktyczne zmiany danego przekroju i w związku z tym występujące w nim naprężenia. Niemniej jednak nie ma gwarancji, że właśnie w mierzonym przekroju pojawi się najwyższe naprężenie (które jest z reguły interesujące dla badającego), a zatem i że pomiar pozwoli wyznaczyć faktyczne maksymalne właściwości materiału. Istnieje uproszczona metoda określania naprężeń rzeczywistych podczas jednoosiowego rozciągania tworzyw sztucznych. Opiera się ona na przyjęciu założenia stałości objętości tworzywa podczas odkształcania. Założenie to spełnione jest z bardzo dużą dokładnością np. dla gumy, jednak jest mniej zgodne z doświadczeniem dla tworzyw w których podczas odkształcania mogą następować zmiany strukturalne. Przykładowo naprężenia mechaniczne mogą wywołać zmianę ilości fazy krystalicznej, co niechybnie prowadzi do zmiany objętości tworzywa. Również materiały o wysokim współczynniku rozszerzalności cieplnej będą wykazywać zmiany objętości pod wpływem ciepła wydzielonego podczas rozciągania. Jeśli jednak postulat stałości objętości może być przyjęty z małym błędem, wówczas objętość fragmentu materiału o jednostkowych wymiarach  $V$ ,  $\text{mm}^3$ , będzie podczas rozciągania niezmiennie wynosić:

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = V = 1, \quad \text{mm} \cdot \text{mm} \cdot \text{mm} = \text{mm}^3 \quad (3.7)$$

zakładając, że materiał zachowuje się izotropowo podczas jednoosiowego rozciągania:

$$\lambda_2 = \lambda_3 \quad (3.8)$$

otrzymuje się z (3.7) i (3.8):

$$\lambda_1 = \frac{1}{\lambda_2^2}. \quad (3.9)$$

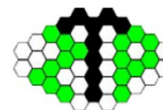
Przy jednoosiowym rozciąganiu odkształceniu próbki fragment przekroju poprzecznego o jednostkowych wymiarach będzie miał zatem w zgodzie z omawianym założeniem jednakowe wymiar  $\lambda_2$  w kierunku każdej osi w płaszczyźnie przekroju. Jego pole powierzchni wyniesie zatem:

$$d_1 = \lambda_2^2, \quad \text{mm} \cdot \text{mm} = \text{mm}^2. \quad (3.10)$$

Naprężenie rzeczywiste w próbce  $\sigma_{rzecz}$ ,  $\text{MPa}$ , uzyskamy zatem zamieniając  $d_0$  we wzorze (3.6) na  $d_1$ :

$$\sigma_{rzecz} = \frac{F}{d_1}, \quad \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \quad (3.11)$$

korzystając z zależności (3.8) do (3.10):



$$\sigma_{rzecz} = \frac{F}{d_1} = \frac{F}{\lambda_2^2} = F \cdot \lambda_1, \quad \frac{N}{mm^2} \cdot 1 = MPa \quad (3.12)$$

Należy zaznaczyć, że wartości różnych naprężeń podawane w literaturze dla tworzyw sztucznych (jak np. wytrzymałość na zerwanie) to w przeważającej części naprężenia nominalne, a nie rzeczywiste.

Moduły, tam gdzie ma to sens fizyczny, wyznacza się zgodnie z zaleceniem wg norm, cytowanym we wstępie teoretycznym niniejszej instrukcji.

### 3.1.3 Przyrząd pomiarowy

Maszyny wytrzymałościowe dostępne w Zakładzie Tworzyw Polimerowych Instytutu Inżynierii Materiałowej PS należą do grupy maszyn uniwersalnych. Są to urządzenia o konstrukcji bramowej. Pomiar siły dokonywany jest za pomocą głowicy tensometrycznej w urządzeniu nowszego typu i na zasadzie grawitacyjnej w urządzeniu starszym.

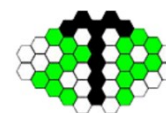
Urządzenie Instron 1112 jest wyposażone w pneumatycznie zamykane uchwyty próbek, co jest szczególnie przydatne dla tworzyw polimerowych ulegających dużym odkształceniom w czasie badania. Szczęki pneumatyczne zapewniają stałą siłę zacisku w trakcie wykonywania pomiaru gdyż mogą skutecznie kompensować zmniejszenie wymiaru poprzecznego uchwytów próbki. Odczyt pomiaru z głowicy tensometrycznej dokonywany jest za pomocą urządzenia elektronicznego, a zapis dokonywany jest w komputerze. Komputer wykreśla w czasie rzeczywistym żadaną zależność na podstawie zadanych parametrów. Sterowanie maszyną wytrzymałościową odbywa się ręcznie przy użyciu panelu sterowania. Wydłużenie próbki obliczane jest przez komputer z podstawy czasu pomiaru przy znanej nastawionej prędkości ruchu trawersy.

W urządzeniu wahadłowym WPM ZDM 2,5/91 pomiar siły dokonywany jest poprzez pomiar wychylenia wahadła połączonego z próbką poprzez uchwyt i szereg dźwigni, a rejestracja siły odbywa się w dźwigniowym urządzeniu samopiszącym na papierze. Pomiar odkształcenia realizowany jest poprzez pomiar drogi przebytej przez trawersę i rejestrowany jest przez urządzenie samopiszące połączone z trawersą systemem linek i dźwigni.

Oba opisywane urządzenia napędzane są silnikami elektrycznymi, trawersa wprawiana jest w nich w ruch mechanizmem śrubowym. O ile w urządzeniu WPM ZDM 2,5/91 możliwa jest płynna regulacja prędkości w zakresie 1 do 25 **mm/min**, to urządzenie Instron 1112 posiada jedynie możliwość poruszania się tylko z określonymi prędkościami. Pozwala ona zatem na zastosowanie prędkości znormalizowanych w **mm/min**, jedynie dla znormalizowanych długości odcinków pomiarowych. Zaletą tej maszyny jest jednak możliwość osiągania dużych prędkości trawersy do 1000 **mm/min**, dzięki czemu może być ono stosowane do badań materiałów elastomerowych.

### 3.1.4 Wykonanie pomiaru na maszynie wytrzymałościowej Instron 1112

1. Wybrać najmniej 3 próbki do badań danego materiału.
2. Wzrokowo sprawdzić brak występowania wad kształtu i materiału w wybranych próbkach, w tym w szczególności:
  - a. duże wady kształtu, typu zgięcie lub skręcenie całej próbki,
  - b. mniejsze lub usuwalne wady kształtu, jak niedolewy, grat, karby,
  - c. wady przetwórcze, jak zapadnięcia, pęcherze gazowe, wtrącenia, rozwarstwienia, widoczne linie zimnych zgrzewów,
  - d. wygląd materiału tj. przebarwienia, przypalenia, żółknięcie, nierównomierność barwy,
  - e. obecność usuwalnych zabrudzeń i śliskich nalotów na powierzchni próbki,
  - f. W razie potrzeby wymienić próbki na inny egzemplarz.
3. Ostrożnie usunąć usuwalne wady – oczyścić próbki, usunąć nadmierne graty nie powodując powstania karbów.
4. Dokonać pomiaru wymiarów poprzecznych odcinka pomiarowego za pomocą suwmiarki, zapisać wymiary i obliczyć pole przekroju (średnie). Pomiar wykonać co najmniej trzykrotnie na każdym z wymiarów poprzecznych pojedynczej próbki i uśrednić lub zdecydować o wartości najbliższej



rzeczywistej zgodnie z rozsądkiem. Przy materiałach miękkich zwrócić SZCZEGÓLNA uwagę na delikatne posługiwanie się przyrządem pomiarowym tak, by nie powodować zgniatania materiału podczas pomiaru (fałszowanie wyniku). Zwrócić również uwagę na obecne graty i NIE mierzyć próbki w miejscu występowania gratu.

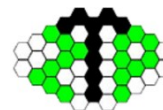
5. Umieścić próbkę w jednej z pneumatycznych uchwytów mocujących i za pomocą dźwigenki uruchomić zamykanie szczęk. UWAGA: włożenie, również przypadkowe, palca pomiędzy szczęki może skutkować poważnym urazem! Próbkę należy umieścić tak, by jej wzdłużna oś jak najlepiej pokrywała się z kierunkiem przesuwu trawersy. Próbka musi być uchwycona na możliwie dużej powierzchni, jednak w taki sposób, żeby nie dotykała odcinka pomiarowego, i była oddalona od niego o dystans pozwalający na minimalizację efektów brzegowych rozkładu naprężeń podczas badania.
6. Ustawić zderzaki zabezpieczające maszyny tak, by nie przeszkadzały w wykonaniu badania i chroniły części maszyny znajdujące się w świetle bramy przed zderzeniem z trawersą.
7. Ustawić pozycję drugiej ze szczęk w taki sposób, by po zamknięciu uchwyciła drugi, swobodny uchwyt próbki, przestrzegając zasad z punktu 5.
8. Dobrać głowicę pomiarową odpowiednio do spodziewanego zakresu mierzonych sił i wymaganej dokładności.
9. Dobrać koła zębate przekładni maszyny odpowiednio do żądanej prędkości ruchu trawersy lub prędkości odkształcania.
10. Wprowadzić niezbędne parametry w oprogramowaniu układu rejestracji siły i podstawy czasu, tj.:
  - a. parametry głowicy pomiarowej,
  - b. prędkość przesuwu trawersy,
  - c. długość odcinka pomiarowego próbki,
  - d. pole przekroju poprzecznego próbki.
11. Uruchomić układ rejestrujący w komputerze.
12. Uruchomić ruch trawersy na panelu sterowania maszyny. Od tej chwili rozpoczyna się właściwy pomiar, a rejestrowane dane zostaną wykorzystane do obliczeń.
13. Po zerwaniu próbki wyłączyć ruch trawersy oraz rejestrację pomiar. W przypadku, gdy próbka nie zostanie zerwana ale osiągnięty zostanie skraj zakresu ruchu trawersy maszyna wytrzymałościowa zastopowana zostanie przez układ zabezpieczenia (zderzaki).
14. Zapisać dane i wykonać obliczenia.

#### 4 Opracowanie wyników

Wyniki badania opracować należy z godnie z normami cytowanymi w części teoretycznej niniejszej instrukcji odpowiednio do badanego materiału.

1. Potraktować obowiązujące normy jako nadrzędne zalecenie, tym niemniej tam, gdzie jest to niezbędne uzupełniać opracowanie wyników o własne metody opisu zjawisk, jeśli wydają się one bardziej adekwatne dla danego materiału.
2. Sporządzić wykresy zależności naprężenia od odkształcenia ( $\lambda$  lub  $\epsilon$ ) i naprężenia od czasu.
3. Obliczyć wszystkie odpowiednie dla materiału wielkości charakterystyczne i tylko tam gdzie ma to sens fizyczny, tj.:
  - a. wytrzymałość na zerwanie,
  - b. wydłużenie do zerwania,
  - c. granicę plastyczności,
  - d. naprężenie przy żądanym odkształceniu,
  - e. odkształcenie trwałe,
  - f. moduł,
  - g. zakres plateau elastyczności
  - h. itp.





4. Wykonać statystyczną ocenę wyników badań, używając odpowiednich dla ilości przypadków estymatorów.
5. Skomentować sposób przeprowadzenia badania zwracając szczególną uwagę na źródła błędów i rozrzutów wyników.
6. Krótko skomentować wynik badania w odniesieniu do wyników uzyskanych dla innych tworzyw, znanych z doświadczeń własnych lub literatury. Ocenić przydatność badanego tworzywa w praktyce inżynierskiej.

## 5 Literatura

- 1 PN-EN ISO 527-1
- 2 PN-EN ISO 527-2
- 3 PN-EN ISO 527-3
- 4 PN-ISO 37
- 5 Z. Dyląg, A. Jakubowicz, Z. Orłoś, Wytrzymałość materiałów tom I, WNT 1996
- 6 D. Jaroszyńska, R. Gaczyński, B. Felczak, Metody badań właściwości fizycznych gumy, WNT 1978