

Komu w drogę, temu Czas – czyli reologia we wtryskiwaniu

Przemek Narowski :: 2.07.2023



Wszyscy na pewno mamy rację i są już wakacje, a więc czas podróży – tych mniejszych i tych całkiem dużych. 😊
Spokojnie, ten wpis nie będzie napisany trzynastozgłoskowcem, a cały blog nie zamieni się w pamiętnik obieżyświata (przynajmniej jeszcze nie teraz).

Jednak jako [Samurajowie Wtryskiwania](#) podążający [Drogą Smoka](#) pamiętamy, że:

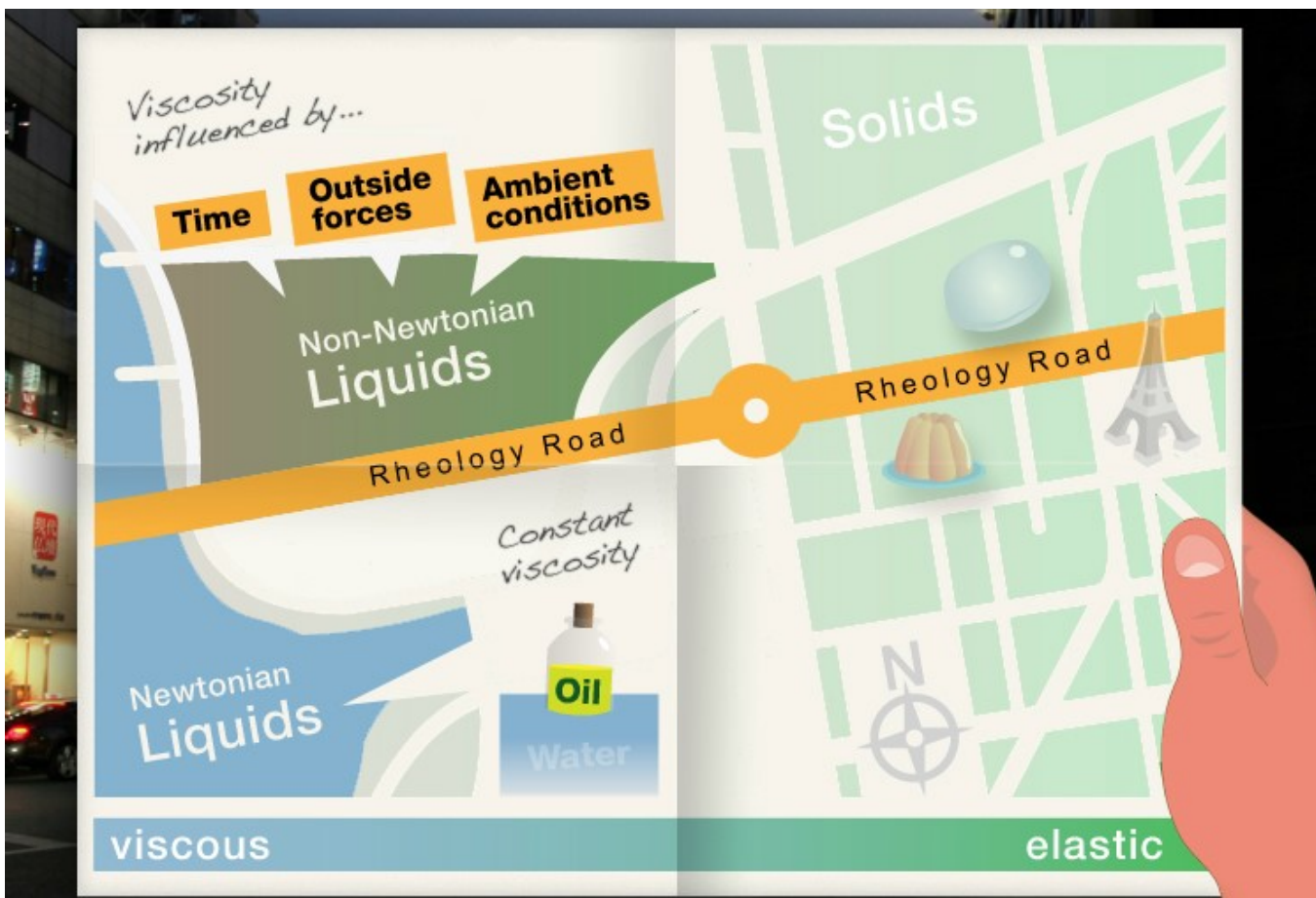
Life is a journey, not a destination.

Bruce Lee

Wtryskiwanie też jest “podróżą”, a “[przed wyruszeniem w drogę należy zebrać drużynę](#)”... i zabrać ze sobą mapę.

Mapą przetwórcy tworzyw sztucznych jest reologia, czyli dział mechaniki ośrodków ciągłych zajmujący się plastycznymi deformacjami (odkształceniami) oraz płynięciem substancji rzeczywistych.

Od razu się przyznam, że tę analogię z mapą (podobnie jak większość rysunków w tym artykule) zapożyczyłem ze szkolenia “[Anton Paar eLearning Course Basics of Rheometry](#)”, z którego uczyłem się podstaw reologii już paręnaście lat temu. Nie wiem jak Tobie, ale (cytując Zenka Martyniuka) “dla mnie się podoba”. 😊



Reologia – mapa przetwórcy tworzyw polimerowych

Al. Eugene’a Bingham’a i Markusa Reinera

To jest główna trasa (oznaczona na mapie powyżej jako “Rheology Road”), która prowadzi od idealnie sprężystych ciał Hooke’a do płynów Newtonowskich. Jak widać na obrazku powyżej, “tereny” te nie stanowią większości wśród znanych nam materiałów, a tak naprawdę samo ich istnienie jest umowną sprawą. Po prostu “umówiono się”, że efekty sprężyste w płynach Newtona są pomijalnie małe, a lepkie płynięcie ciał Hooke’a jest nieistotne.

Takiej jednak “umowy” nie dało się przeforsować w stosunku do tworzyw polimerowych, które zarówno w stanie stałym jak i stopionym są wyraźnie lepkosprężyste, nienewtonowskie i “niehookeowskie”.

Jak widać, stanowią one też większość przystanków na naszej “reologicznej trasie”.

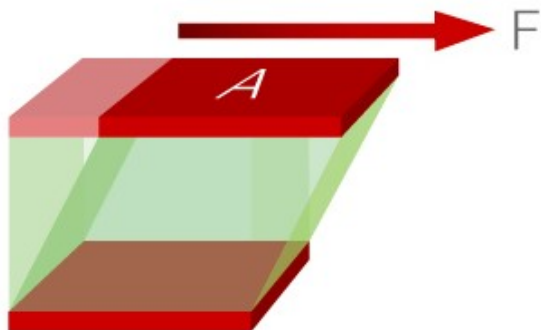


Przystanki na drodze reologii

Ut tensio, sic vis!

Czyli jakie wydłużenie, taka siła – prawo Roberta Hooke’a, które kojarzy się nam z rozciąganiem stalowych sprężyn lub prętów. Można je jednak również pokazać w odniesieniu do tzw. “eksperymentu dwupłytkowego”, którego zazwyczaj stosuje się do wyjaśnienia prawa lepkości Newtona.

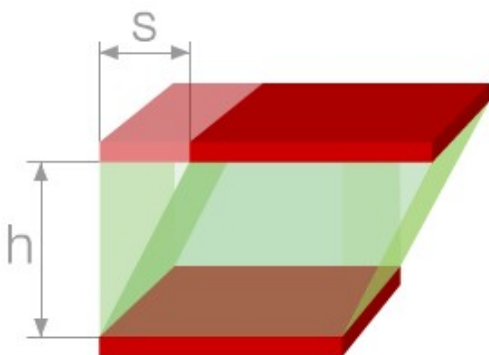
Wyobraźmy sobie tylko, że pomiędzy płytami nie “wstawiamy” wody, ale np. jabłkową galaretkę (żeby była zielona jak na rysunku poniżej).



Wtedy możemy zdefiniować naprężenie ścinające jako iloraz siły ciągnącej za płytę i pola powierzchni płyty.

$$\tau = F/A$$

Odształcenie postaciowe (ściananie) natomiast jako iloraz przesunięcia górnej płyty i odległości między płytami.



$$\gamma = s/h$$

Dzięki prawu Hooke’a stąd już mamy prostą drogę do wyznaczenia współczynnika uzależniającego odkształcenie postaciowe materiału od naprężenia, jakie w nim występuje – wielkości określającej sprężystość materiału.

$$G = \tau/\gamma$$

Dla ciał Hooke’a wartość modułu sprężystości poprzecznej, modułu Kirchhoffa (G) jest stała. Nie zależy od wielkości, szybkości i czasu odkształcania.

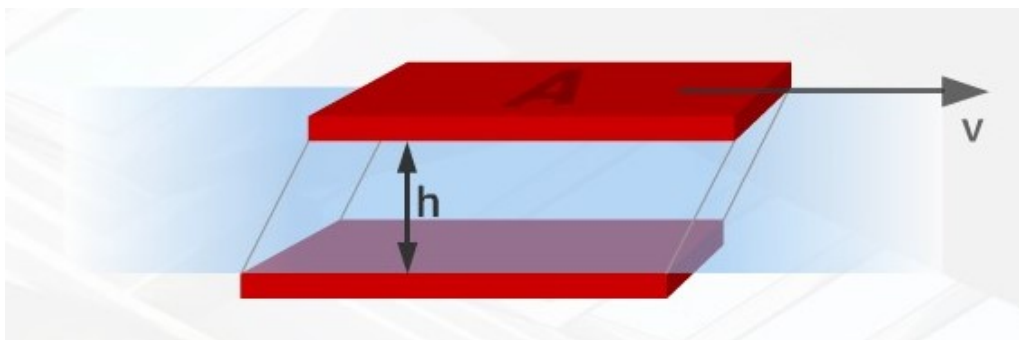
Stacja końcowa

W drugim narożniku mamy Sir Izaaka Newtona, który podobno rzeczywiście miał z Hooke’iem na pieńku i jego prawo lepkości.

$$\eta = \tau/\dot{\gamma}$$

Teraz widać o co się chłopaki pokłucili. Newton dodał tylko kropkę nad γ do prawa Hooke’a. 😊

Teraz wróćmy do wody między dwiema płytami, żeby tę kropkę zrozumieć.



Prędkość odkształcenia postaciowego – szybkość ścinania ($\dot{\gamma}$) w modelu dwupłytyowym możemy zdefiniować jako stosunek szybkości ruchomej płyty do odległości między płytami, czyli

$$\dot{\gamma} = v/h$$

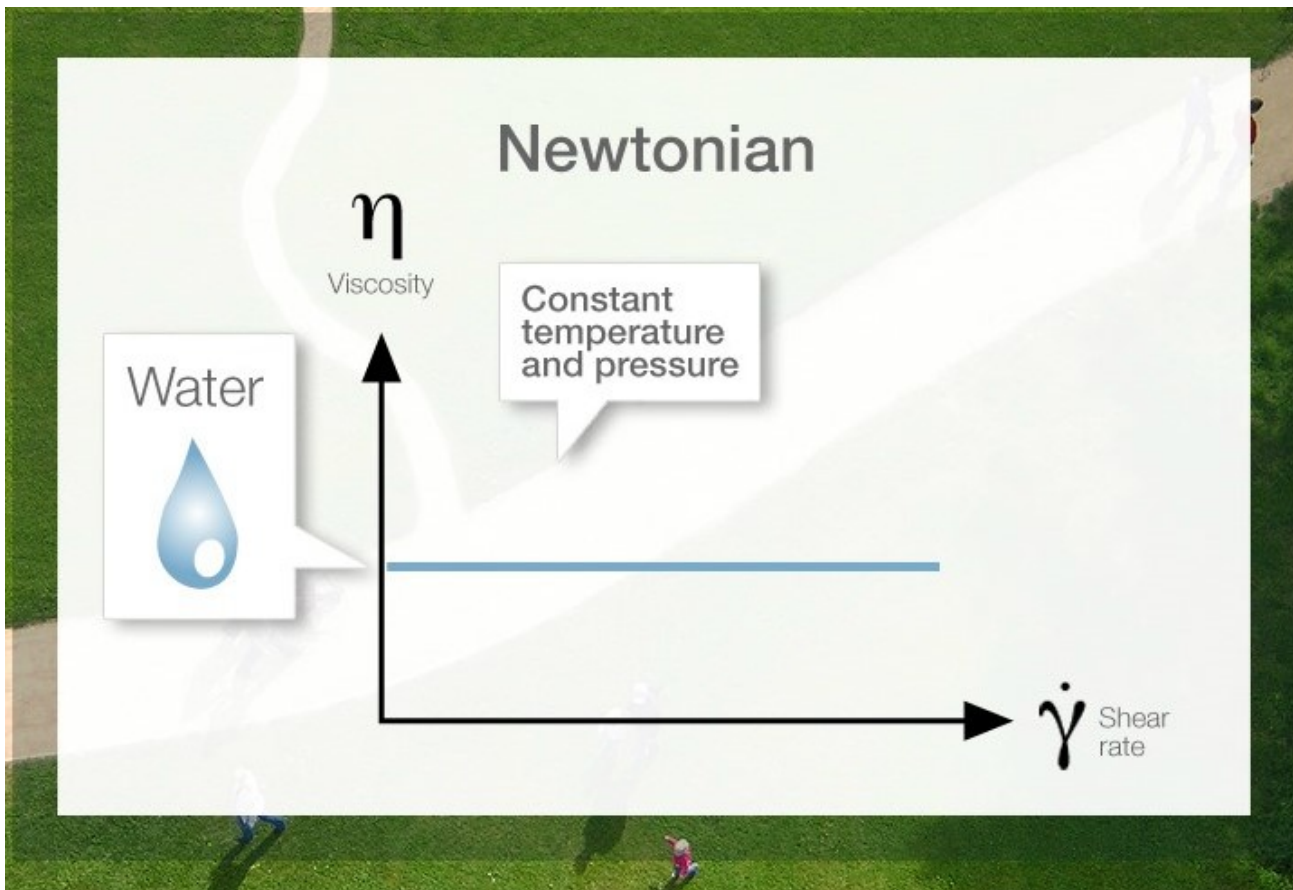
Tak więc Hooke w swoim prawie posługuje się wielkością odkształcenia, a Newton jego szybkością, ale podobnie jak moduł Kirchoffa (G) w prawie Hooke'a, tak i lepkość (η) w prawie Newtona są stałe.

Zakazane rewiry

Nie wiem jak Ty, ale ja bardzo często podczas pierwszych zajęć na studiach czułem się trochę jak [Simba na Lwiej Skale](#). Materiały polimerowe, nienewtonowskie, nieliniowe były “miejszem gdzie nie wolno mi było chodzić”. PKM, mechanika płynów, wytrzymałość materiałów – to wszystko dotyczyło krańców reologicznej trasy. Potem trzeba było pójść dalej... i Ty też musisz. 😊

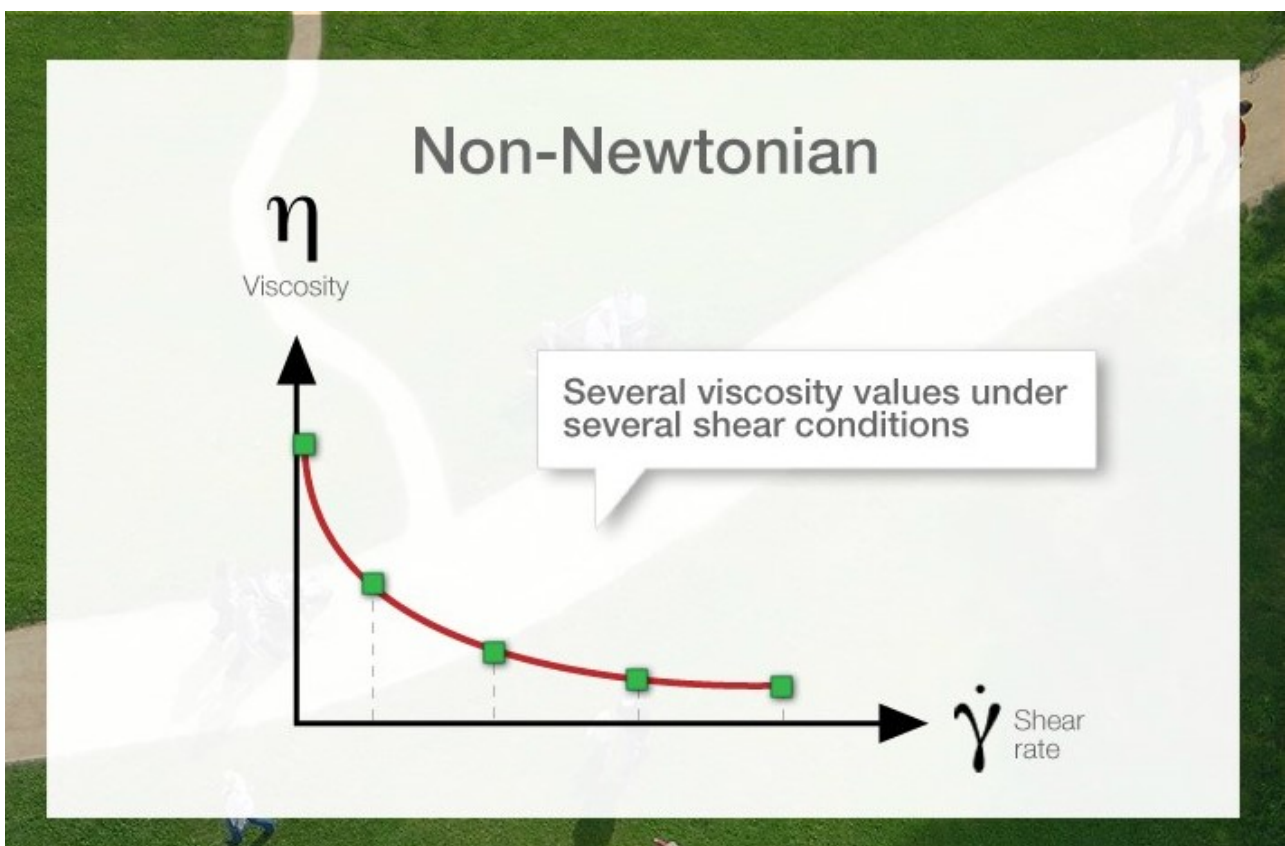
Zajmując się wtryskiwaniem w pierwszej kolejności musimy poznać płyny nienewtonowskie, czyli takie gdzie lepkość niczym kobieta “zmienną jest”.

Lepkość wody w stałych warunkach otoczenia (temperatury i ciśnienia) możemy opisać jedną liczbą.



Woda jako płyn newtonowski

Krzywą lepkości dla tworzyw polimerowych można wyznaczyć tylko na podstawie wielu pomiarów dla różnych szybkości ścinania. Można ją opisać kilkuparametrowym równaniem, ale **nigdy** jedną liczbą, np. wskaźnikiem szybkości płynięcia.



Krzywa lepkości dla tworzyw polimerowych

Dodatkowo niektóre tworzywa polimerowe, zwłaszcza te napelnione np. włóknami szklanymi mają tzw. “granice płynięcia” (Yield Point) – podobnie jak pasta do zębów i majonez. Płyną dopiero po przekroczeniu pewnej granicznej wartości naprężenia.

Pinezki na naszej mapie

1. Zajmując się przetwórstwem tworzyw polimerowych wybieramy się w do końca niepoznane tereny. Bez mapy w postaci podstawowej wiedzy z reologii na pewno zabłądzimy.
2. W tej “krainie czarów” nic nie płynie jako woda i nie rozciąga się jak metalowa sprężyna. Dlatego nie jesteśmy w stanie tego płynięcia zgadnąć. Nie zawsze da się też je tak po prostu na kartce policzyć. Więcej mówiłem o tym [tutaj](#).
3. Tak na prawdę to nic nie płynie jak woda – nawet woda, a z drugiej strony wszystko płynie (*panta rhei*). Jedynie skala czasu w jakiej obserwujemy dane zjawisko decyduje o tym czy można zaobserwować to płynięcie. Biblia mówi, że “góry płyną przed Bogiem”. Nam – ludziom coś innego zawsze przecieka przez palce.

Keep moving forward, it's time to go. It's time. Nothing lasts forever.

Stan Lee



diagram

**diagnozy wady wypraski
w systemie CAE
i sposoby jej usunięcia**

POBIERAM