

**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu***

## Polimery

Opracowanie: dr Karol Kacprzak, Wydział Chemii UAM

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat polimery naturalne jak i syntetyczne wpłynęły w sposób decydujący na rozwój cywilizacji oraz podniesienie jakości życia ludzi. Wymagania rynku i konsumentów w zakresie materiałów trwałych i lekkich, łatwych w obróbce i produkcji, tanich oraz o właściwościach dedykowanych do konkretnych zastosowań (np. tworzywa lub materiały miękkie, twarde, elastyczne, bezbarwne lub kolorowe, biozgodne, ulegające degradacji bądź nie) – stały się domeną chemii i technologii polimerów (Tabela 1). Polimery syntetyczne są podstawowym budulcem tworzyw sztucznych (m. in. PCV, polietylen, polipropylen, teflon), występują także jako składniki farb, lakierów, olejów przemysłowych, środków smarujących, klejów oraz stanowią ważną grupę tekstyliów np. nylon, poliamid.

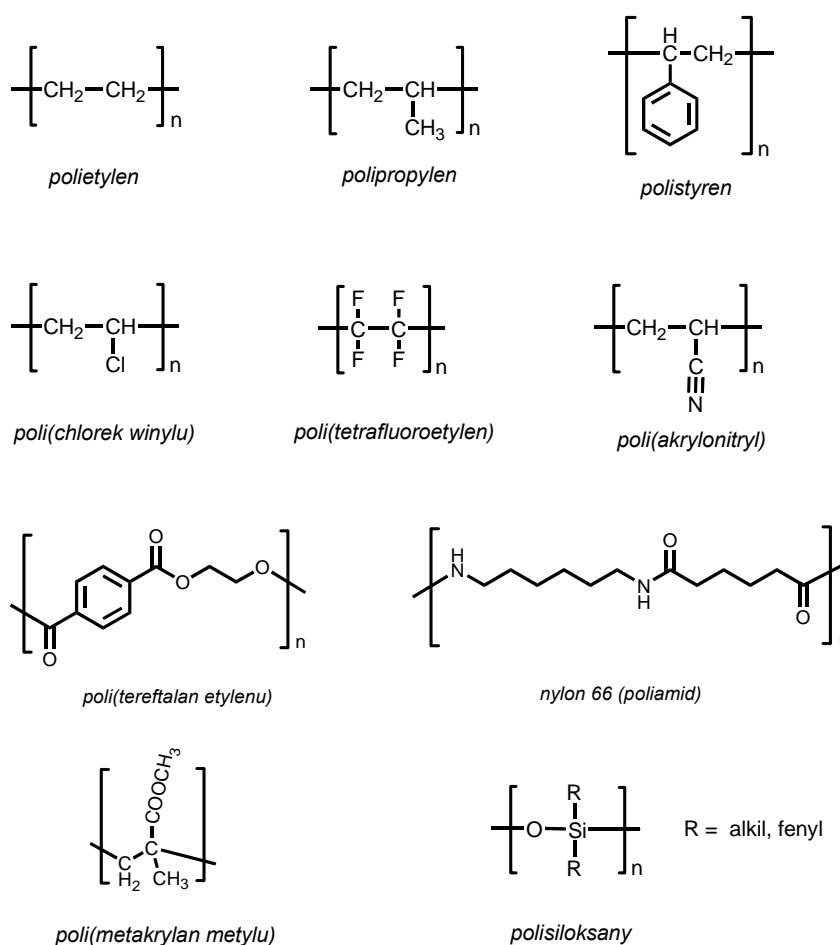
Tabela 1. Charakterystyka i główne kierunki wykorzystania wybranych polimerów.

Nazwa (symbol)	Ogólna charakterystyka	zastosowania
polietylen (PE)	bardzo odporny chemicznie, dobry dielektryk, łatwo się obrabia i barwi	pojemniki, zabawki, folie, izolacje elektryczne, opakowania
polipropylen (PP)	lżejszy i bardziej wytrzymały niż polietylen (wyższa temperatura topnienia), trudniejszy w obróbce, mniej odporny chemicznie	wykładziny, rury, elementy konstrukcyjne
polistyren (PS)	dobry dielektryk, wytrzymały na zgniatanie, kruchy, łatwa obróbka i barwienie, odporny na ciecze nieorganiczne	tworzywo konstrukcyjne, izolacje (styropian), opakowania, wyroby optyczne
poli(chlorek winylu) (PCW, PVC)	duża odporność chemiczna (stężone kwasy, zasady, wiele rozpuszczalników), łatwa plastyfikacja	panele podłogowe, rurki, węże, odzież ochronna, opakowania
poli(tetrafluoroetylen) (PTFE)	wybitna odporność chemiczna, wysoka odporność termiczna, niepalny, mały współczynnik tarcia, właściwości antyadhezyjne, kosztowny i trudny w obróbce	aparatura chemiczna, łożyska, elementy działające w trudnych warunkach, powłoki (patelnie), smary, taśmy uszczelniające
poli(akrylonitryl) (PAN)	cenny składnik kopolimerów i włókien	popularna "anilana" (orlon w USA) składnik tzw. sztucznego jedwabiu, włókiennictwo, nowoczesne materiały
poli(tereftalan etylenu) (PET)	Świetna elastyczność, wytrzymałość na ścieranie	sztuczne włókna (dawna elana, dakron), butelki plastikowe, taśmy
poliamidy (PA)	bardzo dobre właściwości mechaniczne,	liny, włókna (nylon), folie, galanteria
poli(metakrylan metylu) (PMM)	(szkło organiczne) – przezroczyste, przepuszcza promieniowanie w zakresie światła widzialnego i UV, dobre właściwości mechaniczne, łatwa obróbka, barwienie i recykling	elementy optyczne, szyby i obudowy, galanteria, światłowody
polisiloksany (silikony)	wysoka odporność termiczna, chemiczna, izolatory, niezwilżalne	oleje, smary, ciecze hydrauliczne, kauczuki, żele (medycyna)

**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu***

Polimerów nie należy utożsamiać wyłącznie z tworzywami sztucznymi gdyż występują one także obficie w naturze i organizmach żywych, stanowiąc kluczowe dla życia cząsteczki np. kwas dezoksyrybonukleinowy (DNA) czy skrobia i celuloza. Dla ich wyraźnego odróżnienia od polimerów syntetycznych określa się je mianem biopolimerów.

Najogólniej polimerami (gr. *polymeres* - wieloczęściowy, zbudowany z wielu części) nazywa się substancje chemiczne o bardzo dużej masie cząsteczkowej, które składają się wielokrotnie powtórzonych jednostek zwanych merami. Merem może być identyczny fragment lub kilka (najczęściej dwa) różnych fragmentów (mówimy wtedy o kopolimerach). Dodać należy, że przez bardzo dużą masę cząsteczkową polimeru rozumie się sytuację, gdy odjęcie lub przyłączenie jednego bądź kilku merów nie zmienia zasadniczo jego ogólnych właściwości chemicznych i fizycznych. Wzory kilku najpopularniejszych polimerów (prezentowanych w tabeli 1) z zaznaczonym merem przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Wzory wybranych polimerów (w nawiasie kwadratowym mer każdego z nich).

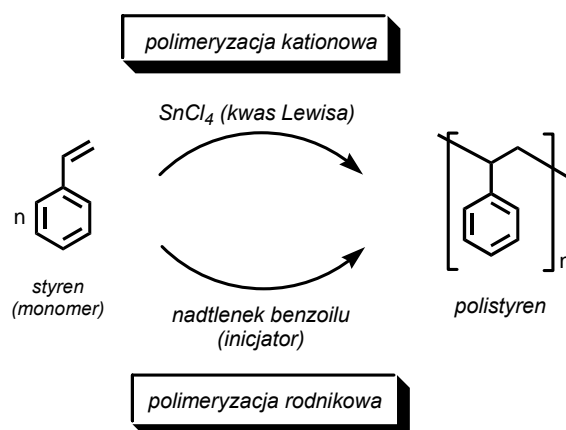
## Polistyren

Polistyren stanowi popularne tworzywo sztuczne, oznaczane literami PS. Czysty polistyren jest bezbarwnym, twardym i kruchym termoplastem (czyli tworzywem formowanym na gorąco przez topienie) charakteryzującym się ograniczoną elastycznością. Polistyren jest bezbarwny, jednak może być łatwo barwiony. Jego zaletą w stosunku do innych poliolefin np. polietylenu i polipropylenu jest niższa temperatura mięknięcia i mniejsza lepkość stopu, co ułatwia wytwarzanie niewielkich przedmiotów o złożonych kształtach w procesie formowania wtryskowego.

**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu***

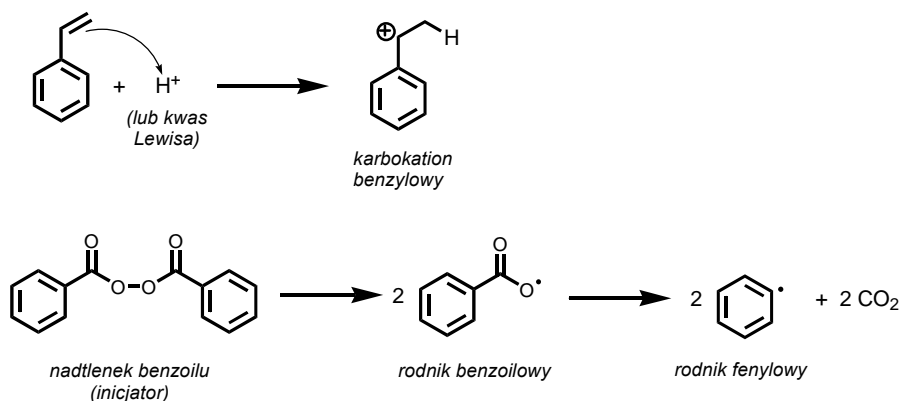
Polistyren znalazł bardzo wiele zastosowań. Najbardziej znanym i masowym jego wykorzystaniem jest produkcja jego formy spienionej czyli styropianu. Styropian otrzymuje się w wyniku gwałtownego ogrzewania parą wodną polistyrenu w formie granulek, zawierających niewielką ilość lotnego czynnika spieniającego (np. mieszanina węglowodorów - n-pentanu i izo-pentanu). Styropian jest masowo stosowany do produkcji styropianowych płyt izolacyjnych dla budownictwa, do produkcji opakowań w tym również do żywności (kubki do napojów gorących). Poza tym jako tworzywo lite polistyren stosowany jest do produkcji sztucznej biżuterii, pudełek do płyt CD oraz zabawek.

Polistyren otrzymuje się w drodze polimeryzacji styrenu, którą można prowadzić w sposób wolnorodnikowy oraz kationowy lub anionowy (przemysł) Schemat 1.



Schemat 1.

Polimeryzacja kationowa (opisana w ćwiczeniu) wymaga stosowania kwasu Lewisa, który zdolny będzie do reakcji z wiązaniem podwójnym monomeru prowadząc do reaktywnego karbokationu monomeru (schemat 2). Reaguje on następnie z kolejną cząsteczką monomeru co prowadzi do utworzenia wiązania kowalencyjnego między nimi oraz odtworzenia karbokationu (zlokalizowanego na drugim merze). Ten etap wzrostu trwa aż do wykorzystania większości substratu. Z kolei polimeryzacja wolnorodnikowa wymaga obecności rodników, które wytwarza się z nietrwałych związków chemicznych rozpadających się np. pod wpływem ogrzewania, zwanych inicjatorami polimeryzacji. Należą do nich m. in. substancje zawierające wiązania nadtlenkowe (-O-O-) np. nadtlenek benzoilu lub ugrupowanie diazowe (-N=N-) np. AIBN (2,2'-azobis(izobutyronitryl)) (schemat 2). Rodniki reagują z monomerem uruchamiając reakcję łańcuchową (etap propagacji), która kończy się wraz z wyczerpaniem monomerów oraz rekombinacją rodników (etap terminacji).



Schemat 2.

## Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu*

### Część eksperymentalna

#### Polimeryzacja kationowa styrenu

Odczynniki:

styren (przedestylowany)	10 mL
chlorek etylenu (1,2-dwuchloroetan)	10 mL
czterochlorek cyny bezw.	0,1 g
metanol lub etanol	200 mL

W kolbie trój szyjnej o pojemności 150 ml umieszczonej na łaźni wodnej i zaopatrzonej w termometr oraz chłodnicę zwrotną, umieszcza się 10 mL styrenu (świeżo przedestylowanego) i 5 mL chlorku etylenu. Następnie wkrapla się 0.1 g bezwodnego  $\text{SnCl}_4$  rozpuszczonego w 5 mL chlorku etylenu. Reakcję prowadzi się przez godzinę w temperaturze 40-60 °C (należy obserwować wskazania termometru i nie dopuścić do gwałtownego wzrostu temperatury mieszaniny reakcyjnej; jeżeli temperatura wzrośnie do 90 °C należy chłodzić kolbę w zlewce z zimną wodą). Po wskazanym czasie mieszaninę reakcyjną pozostawia się do ochłodzenia do temperatury pokojowej. Następnie roztwór reakcyjny wylewa się do zlewki zawierającej 100 mL alkoholu. Wytrącający się osad pozostawia się w alkoholu do momentu, gdy produkt stanie się kruchy. Można zlać mleczny roztwór z nad osadu i dolać kolejną porcję alkoholu. Gdy osad jest dostatecznie kruchy należy osad oddzielić poprzez dekantację i pozostawić do wysuszenia.

#### Polimeryzacja rodnikowa i plastyfikacja polistyrenu

Odczynniki:

Styren	6.5 mL
Diwinylobenzen	1.5 mL
Ftalan dioktylu	4 mL
Nadtlenek benzoilu	0.2 g

W kolbie stożkowej o pojemności 100 mL umieszcza się 6.5 mL styrenu oraz 1.5 mL diwinylobenzenu a następnie dodaje się ok. 0.2 g nadtlenku benzoilu. Mieszaninę rozlewa się do 5 ponumerowanych probówek, odpowiednio: 2, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4 mL korzystając w pipety automatycznej. Następnie do probówek dodaje się zachowując tę samą kolejność 0, 0.4, 0.8, 1.2 i 1.6 mL ftalanu dioktylu (stężenie ftalanu wynosi 0, 20, 40, 60 i 80%). Zawartość probówek miesza się i ogrzewa na łaźni wodnej aż polistyren w pierwszej probówce całkowicie się zestali. Następnie probówki owija się ręcznikiem i delikatnie tłucze (ostrożnie, kontrola asystenta!). Otrzymane polimery wyciąga się i porównuje ich plastyczność (rękawice)

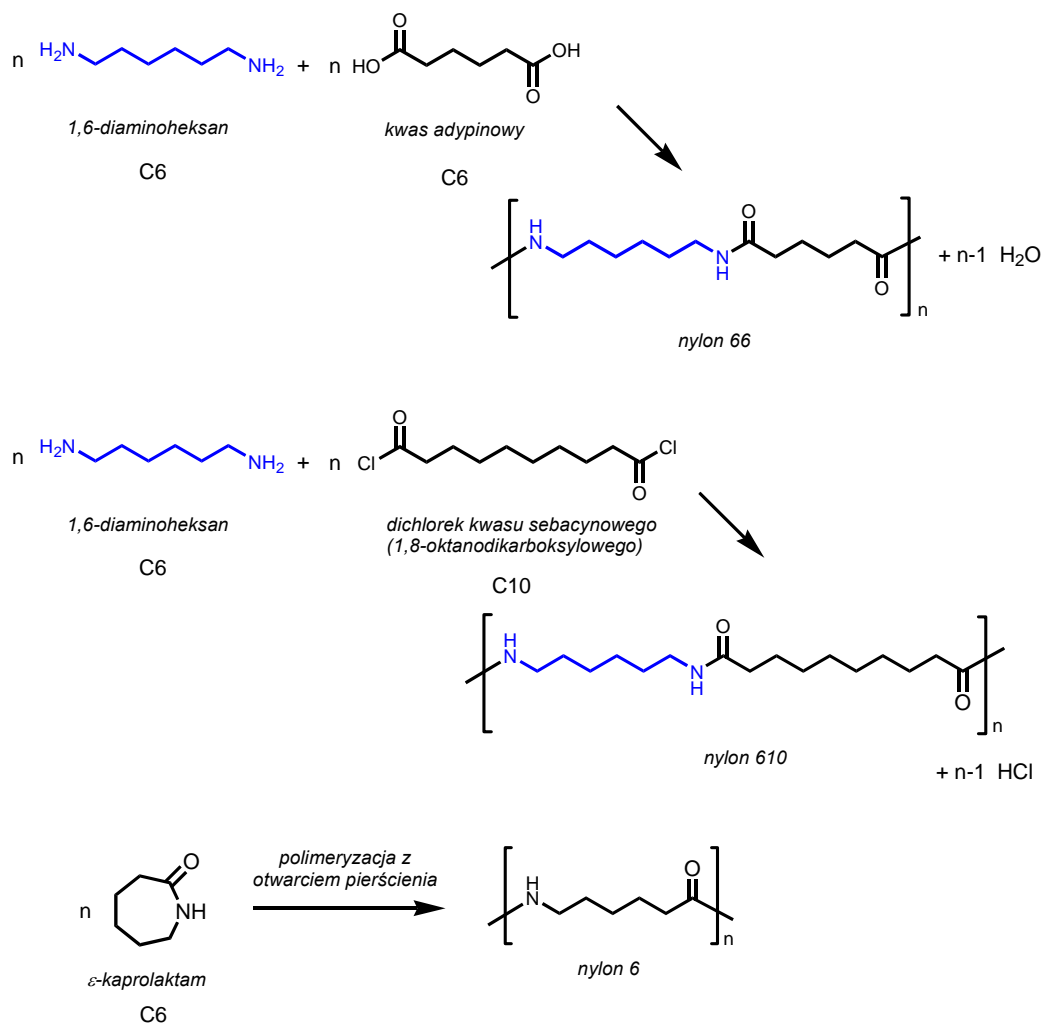
### Nylon

Nylony to handlowa nazwa syntetycznych poliamidów wprowadzonych na rynek przez firmę DuPont. Polimery te zawierają grupy amidowe a wytwarza się je w drodze polikondensacji (czyli obok łańcucha polimeru powstaje woda) kwasów dikarboksylowych (lub ich dichlorków) z diaminami. Inną metodą syntezy jest otwarcie pierścienia laktamowego z następującą polimeryzacją (Schemat 3).

Zbiorcza nazwa nylon obejmuje szereg różnych polimerów, które dla łatwego rozróżnienia oznacza się numerami, np. nylon-66. Cyfry te oznaczają liczbę atomów węgla w monomerach. Pojedyncza liczba np. nylon-6 oznacza włókno otrzymane z laktamu o 6 atomach węgla (kaprolaktamu). Dwie cyfry np. nylon-66, nylon-612 oznaczają liczbę atomów węgla w cząsteczkach odpowiednio: diaminy i kwasu dikarboksylowego. A zatem nylon-610 otrzymywany w ćwiczeniu jest kopolimerem 1,6-heksametylenodiaminy (diaminy C6) i kwasu 1,8-oktanodikarboksylowego (dikwasu C10).



**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu***



Schemat 3. Synteza wybranych poliamidów.

Nylon 66 został wynaleziony w 1935 roku przez W. Carothersa w firmie DuPont w USA i był pierwszym syntetycznym polimerem, który odniósł komercyjny sukces. Z założenia miał być tańszym zamiennikiem jedwabiu o zastosowaniach militarnych (spadochrony, plandeki etc.) – zwłaszcza, że ten w okresie II wojny światowej był trudno dostępny. Pierwsze produkty z nylonu trafiły na rynek w roku 1938 (szczoteczka do zębów z włosiem nylonowym) oraz nylonowe pończochy w 1940 roku (rys. 2).

Ze względu na cenne właściwości mechaniczne np. bardzo dużą wytrzymałość na rozciąganie nylony służą m.in. do wytwarzania włókien syntetycznych. Stosowane są przede wszystkim do produkcji dzianin, tkanin, lin i żyłek a także, ze względu na doskonałe właściwości mechaniczne, do panewek łożysk, kół zębatych itp.



## Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu*



Rys. 2. Historyczne reklamy rajstop nylonowych „nylonów”.

### Część eksperymentalna

#### Wytwarzanie nici nylonowej (nylon 610)

W zlewce o pojemności 50 mL umieszcza się 10 mL 5% wodnego roztworu 1,6-diaminoheksanu oraz 10 kropli 20% wodnego roztworu NaOH (jeżeli produkt ma być barwny należy dodać do mieszaniny odpowiedniego barwnika – fluoresceiny, oranżu metylowego lub innego). Następnie wlewa się po ścianie zlewki za pomocą bagietki 10 mL 9% roztworu chlorku sebacylu w cykloheksanie tak aby otrzymać dwie wyraźne i nie zmieszane warstwy cieczy. W zlewce zanurza się drucik z haczykiem na końcu tak aby uchwycić tworzący się na granicy faz cieczy fragment polimeru, który powolnym i jednostajnym ruchem wyciąga się nawijając na walek drewniany (lub cylinder miarowy). Po otrzymaniu zadawalającej ilości nici produkt płucze się wodą bieżącą. Pozostałą część mieszaniny reakcyjnej miesza się bagietką otrzymując nylon w formie bezpostaciowej, który płucze się wodą i suszy.

#### Identyfikacja poliamidów (nylonu).

A. Mały kawałek badanego tworzywa wprowadza się za pomocą szczyptec do dolnej, zewnętrznej części płomienia palnika. Próbka poliamidu zapala się natychmiast i paląc się formuje małe, pienne kuliste krople. Barwa płomienia jest biała z brzegami słaboniebieskimi. Po wyjęciu próby z płomienia obserwuje się spontaniczne palenie, któremu towarzyszy specyficzna woń przypominająca zapach włosów lub świeżego selera.

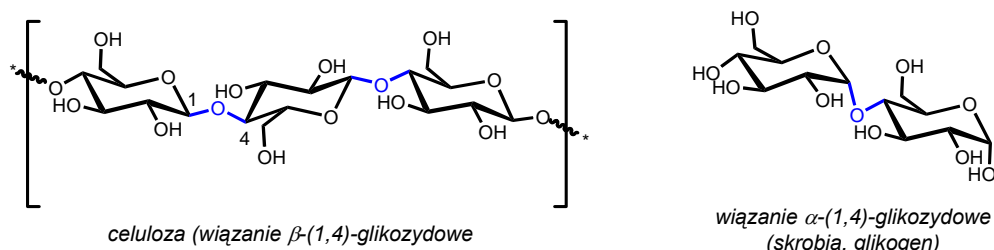
B. Do czterech probówek wlewa się kolejno: aceton, trichloroetylen (lub chloroform), lodowaty kwas octowy oraz stężony kwas solny (**ostrożnie: żrące i drażniące**). Następnie do probówek wrzuca się małe, podobnej wielkości kawałki badanego tworzywa. Poliamidy rozpuszczają się jedynie w kwasie octowym i solnym.

C. Do probówki wsypuje się ok. 0.5 g rozdrobnionego poliamidu (pociętej żyłki rybackiej) oraz ok. 2 g rozdrobnionego NaOH (**ostrożnie: silnie żrący**). Mieszaninę wytrząsa się po czym zwilża przez dodanie ok. 0.5 mL wody. Probówkę ogrzewa się w płomieniu palnika trzymając u jej wylotu papierek wskaźnikowy. W podanych warunkach poliamidy rozkładają się w wydzielaniu amoniaku.

**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu***

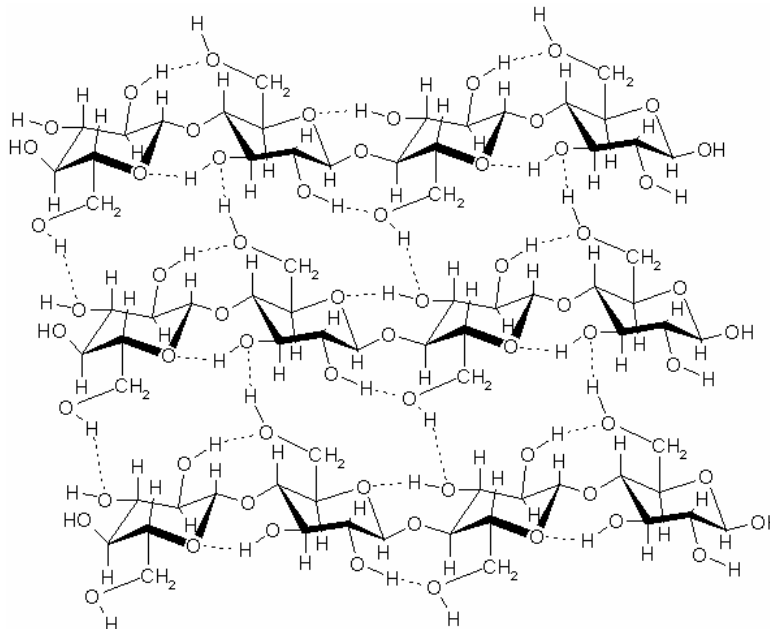
**Otrzymywanie włókna celulozowego oraz badanie właściwości celulozy**

Celuloza jest jednym z najpowszechniejszych biopolimerów spotykanym w przyrodzie. Jej producentami są rośliny (np. włókna bawełny to celuloza o 98% czystości, drzewo zawiera 40-53% celulozy), grzyby oraz mikroorganizmy. Polisacharyd ten zbudowany jest z jednostek cukrowych D-(+)-glukozy połączonych wiązaniem  $\beta(1\rightarrow4)$ -glikozydowym (rys. 3).



Rys. 3. Budowa celulozy (na niebiesko zaznaczono wiązania glikozydowe).

Taki sposób połączenia jest typowy dla celulozy, w innych, popularnych polisacharydach tj. skrobi, oraz glikogenie występuje wiązanie  $\alpha(1\rightarrow4)$ -glikozydowe. Cechą charakterystyczną celulozy jest jej liniowa budowa, wysoka masa cząsteczkowa (w zakresie kilkaset tysięcy – kilka milionów u) oraz brak rozgałęzień łańcucha. Łańcuchy celulozy formują ściśle i wytrzymałe włókna (mikrofibryle) wskutek tworzenia skomplikowanej sieci między- i wewnątrz-cząsteczkowych wiązań wodorowych (rys. 4).



Rys. 4 Fragment sieci przestrzennej celulozy z zaznaczonymi wiązaniami wodorowymi – zaznaczonymi liniami przerywanymi ([www.chemphys.gcsu.edu](http://www.chemphys.gcsu.edu)).

Właściwości fizyko-chemiczne celulozy w znacznym stopniu zależą od stopnia jej polimeryzacji (długości łańcucha). Łańcuchy celulozy otrzymywanej z pulpy drzewnej posiadają od 300 do 1700 jednostek glukozy, cząsteczki bawełny oraz celulozy bakteryjnej zwykle są dłuższe (800 do 10.000 jednostek cukrowych). Warto wspomnieć, że celuloza drzewna jest zawsze zanieczyszczona hemicelulozą, ligninami, pektynami oraz innymi związkami (narzuca to konieczność jej dodatkowej obróbki w przemyśle) natomiast mikroorganizmy wytwarzają

**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu***

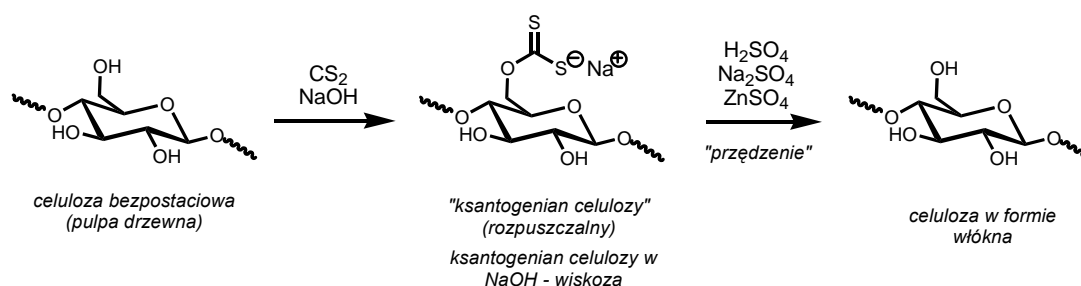
celulozę o dużej czystości i stopniu krystaliczności.

Celuloza wskutek obecności grup hydroksylowych przy 2, 3 i 6 atomie węgla odznacza się dość wysoką reaktywnością chemiczną. Grupy te różnią się wyraźnie reaktywnością ze względu na różną rzędowość oraz położenie w pierścieniu cukrowym np. reakcje tworzenia eterów oraz estrów zachodzą najefektywniej na grupie hydroksylowej przy atomie węgla C2, a w dalszej kolejności na grupie hydroksylowej przy C6.

Chemicznie czysta celuloza jest białym proszkiem, pozbawionym smaku i zapachu. Polisacharyd ten mimo dużej polarności jest nierozpuszczalny w wodzie i większości rozpuszczalników organicznych. Celuloza ulega całkowitej biodegradacji (pod działaniem celulaz – enzymów rozkładających celulozę), a także hydrolizie pod działaniem roztworów kwaśnych w podwyższonej temperaturze, prowadząc przez stadium dekstryn (oligomery) do glukozy. Podkreślić należy jej naturalne pochodzenie i powszechną dostępność, które klasyfikują ją jako niedrogi surowiec odnawialny.

Otrzymywanie włókien z celulozy drzewnej w przeciwieństwie do przędzenia bawełny czy lnu nie jest łatwe. Wynika to konieczności jej oczyszczania i przygotowania oraz z faktu nierozpuszczalności celulozy w większości roztworów i substancji. Historyczne znaczenie ma tzw. proces miedziowo-amoniakalny odkryty przez Fremery'ego i Urbana w 1897 roku, polegający na rozpuszczeniu celulozy w roztworze wodorotlenku tetraaminomiedzi (II) (odczynnik Schweitzera,  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ ). Proces ten jest mało opłacalny w przemyśle (duże ilości soli miedzi i amoniaku = kosztowne ich zagospodarowanie), jest jednak najłatwiejszy do prowadzenia w skali laboratoryjnej.

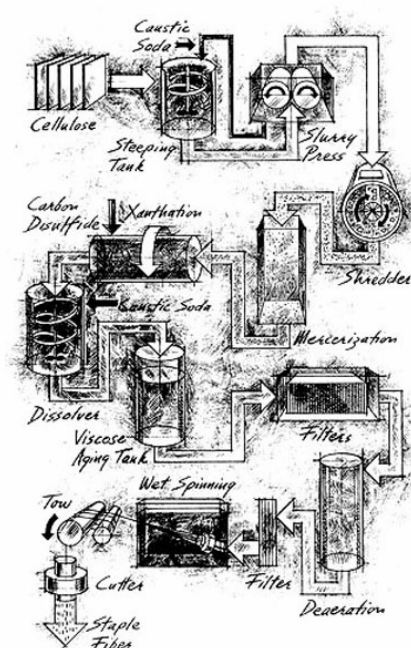
Przemysłowo stosowany jest dwuetapowy proces tzw. wiskozowy opracowany w 1892 roku (Schemat 4). W pierwszym kroku traktuje się celulozę ługiem sodowym w wyniku czego następuje jej częściowa degradacja i skrócenie łańcuchów polimeru. Następnie na tak otrzymaną alkalicelulozę działa się disiarczkiem węgla(IV) co prowadzi do powstania rozpuszczalnego związku zwanego ksantogেনianem celulozy. Jego roztwór w rozcieńczonym ługu sodowym stanowi płyn przędzalniczy zwany wiskożą. Wiskoza wtłaczana przez otworki dyszy przędzalniczej do kwaśnej kąpieli zawierającej  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  i  $\text{ZnSO}_4$  odtwarza celulozę w formie włókien jedwabiu wiskozowego (rys. 5). Poza jedwabiem wiskozowym, celuloza służy także do produkcji celofanu – wiskożę tłoczy się przez szczelinę a otrzymaną folię nasycą gliceryną oraz ewentualnie pokrywa wodnoochronną warstwą nitrocelulozy (czyli triazotanem celulozy). Zaletami procesu wiskozowego jest niski koszt surowca (celuloza drzewna) oraz związków chemicznych ( $\text{CS}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Jednak współcześnie proces ten z uwagi na uciążliwość środowiskowe (emisja gazów zawierających siarkę) oraz duże ilości trudnych do oczyszczenia ścieków jest coraz bardziej problematyczny i kosztowny.



Schemat 4.



**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii – zwiększenie liczby absolwentów kierunku CHEMIA na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu***



Viscose Process



Rys.5. Historyczny schemat produkcji włókien wiskozowych. Obok gotowe wyroby z wiskozy (w USA noszą nazwę handlowa Rayon). Obrazy zaczerpnięto ze strony <https://chempolymerproject.wikispaces.com/Rayon+-+E+-+CWRB>

Jako alternatywny proces opracowano technologie produkcji włókien celulozowych wykorzystując jej rozpuszczalność w innych rozpuszczalniku - *N*-tlenku *N*-metylomorfoliny (NMMO). Technologia ta jest w pełni prośrodowiskowa: nie generuje zanieczyszczeń gazowych a ilość ścieków i odpadów jest znikoma. Dodatkowo NMMO można odzyskiwać z niemal ilościową efektywnością (99%).

## Część eksperymentalna

### Odczynnik Schweitzera

W kolbie stożkowej o pojemności 250 mL umieścić 5 g siarczanu miedzi (II) (pentahydratu). Sól rozpuścić w 50 mL wody destylowanej po czym dodawać kroplami 1 M roztwór NaOH aż do ilościowego wytrącenia  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . Osad wodorotlenku odsączyć na leжку, przemyć wodą i wysuszyć (np. w suszarce o temp. 40-50° C). Wysuszony wodorotlenek miedzi (II) przenieść następnie do kolby stożkowej o pojemności 100 mL z doszlifowanym korkiem i rozpuścić w 50 mL wody amoniakalnej (**uwaga – żrąca i drażniąca**). Roztwór ten stanowi odczynnik Schweitzera.

### Otrzymywanie włókna celulozowego

Do kolby z odczynnikami Schweitzera dodać 3 g celulozy (można stosować watę). Następnie kolbę zamknąć i wytrząsać do rozpuszczenia się celulozy. Po rozpuszczeniu otwartą kolbę wstawia się do eksykatora próżniowego i na 15-20 minut podłącza pompę próżniową celem odpowietrzenia roztworu. W tym czasie umieszcza się w szerokiej zlewce lub krystalizatorze 200 mL 33%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Roztwór celulozy umieścić w strzykawce z igłą i powoli właczać do roztworu kwasu. Otrzymaną nić chwycić pęsetą i powoli nawijać na bagietkę. Po zużyciu całości roztworu celulozy, wypłukać nić kolejno w wodzie, 5% roztworze amoniaku i wodzie. Nić wysuszyć, zbadać jej wytrzymałość i wygład.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Projekt PO KL *Poczuj chemię do chemii* – zwiększenie liczby absolwentów kierunku *CHEMIA* na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu**

**Literatura:**

- [1] *Chemia polimerów Tom I. Makrocząsteczki i metody ich otrzymywania, Chemia polimerów T. II. Podstawowe polimery syntetyczne i ich zastosowanie, Chemia polimerów T. III. Polimery naturalne i polimery o specjalnych właściwościach*  
Praca zbiorowa, Z. Florjańczyk, S. Penczek (red.) Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej **2001, 2002, 1998.**
- [2] S. Porejko, J. Fejgin, L. Zakrzewski, *Chemia Związków Wielkocząsteczkowych*, WNT, Warszawa **1973.**
- [3] M. P. Stevens, *Wprowadzenie do Chemii Polimerów*, PWN, Warszawa **1983.**
- [4] J. Pęcherz, *Chemia polimerów dla szkół średnich*, WSiP, Warszawa **1989.**