

Wpływ promieniowania jonizującego na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne materiałów

Krystyna Cieśla

Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
Warszawa

Obiekty poddawane sterylizacji lub dekontaminacji z zastosowaniem promieniowania jonizującego

- **Sprzęt medyczny (+ środki ochrony indywidualnej)**
- **Preparaty medyczne (farmaceutyczne)**
- **Korespondencja bieżąca**
- **Dziedzictwo Kulturowe, Archiwa**
- **Żywność i dodatki do żywności**
- **zastosowania rolnicze (np. pożywki)**

Sprzęt medyczny i systemy kontrolowanego dostarczania leków przewidziane do dekontaminacji radiacyjnej są często wykonane z polimerów lub zawierają elementy wykonane z polimerów

Radiochemia – oddziaływania na poziomie jąder atomowych (radioizotopy) – nie nasz zakres

Chemia Radiacyjna – oddziaływania ze sferą walencyjną atomów (nie ma radioaktywności)

Fotony gamma

Elektrony

Fotony (promieniowanie) X

The primary effects of irradiation:

- Jonizacja
- Wzbudzenie
- Efekt termiczny

GAMMA: Efekt fotoelektryczny i efekt Comptona. Zderzenie fotonu gamma z atomem powoduje wybite elektronu z powłoki walencyjnej. Wzbudzona cząsteczka emituje foton (promieniowanie wtórne) i powraca do stanu podstawowego.

Tak więc w przypadku napromieniowania zarówno elektronami jak fotonami gamma, bezpośrednią przyczyną procesów chemicznych w materiałach są oddziaływania z elektronami.

Jonizacja pierwotna i wtórna – wybite elektrony są zdolne do wywołania dalszych procesów jonizacji i wzbudzenia.

Promieniowanie stopniowo wytraca energię na swojej drodze w materiale – powodując tworzenie w „śladzie” reaktywnych form chemicznych → **Reakcje Chemiczne**.

Prawdopodobieństwo **oddziaływania** promieniowania z atomami i cząsteczkami zależy tylko od **gęstości elektronowej** materiału.

Ale: Odporność na promieniowanie i przebieg procesów chemicznych zależą od jego **struktury cząsteczkowej**.

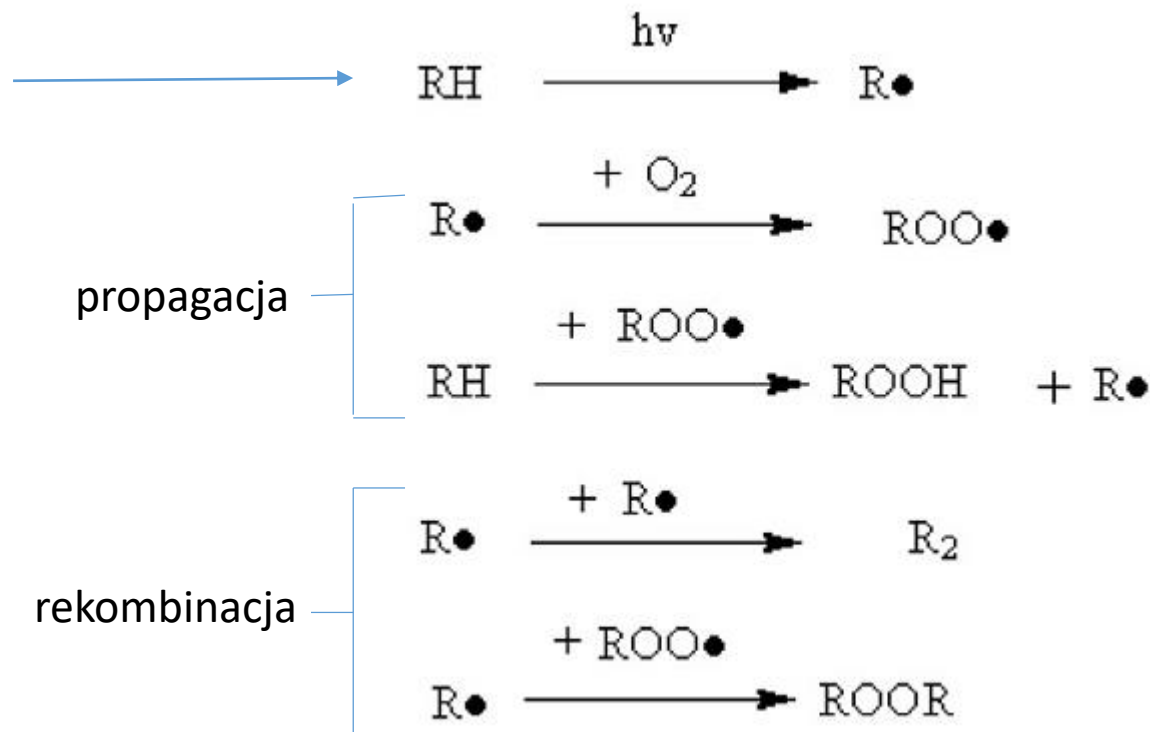
Praca finansowana w ramach projektu Nr 305.3938-20 Central European Initiative (CEI) (Extraordinary Action 2020)

Odporność na promieniowanie i przebieg procesów chemicznych zależą od struktury cząsteczkowej

MECHANIZM WOLNORODNIKOWY – TO SAMO DOTYCZY PROCESÓW INICJOWANYCH METODAMI CHEMICZNYMI

Możliwe procesy tworzenia, propagacji i terminacji wolnych rodników w polimerach przykłady

Oderwanie wodoru jest istotnym etapem procesów wolnorodnikowych

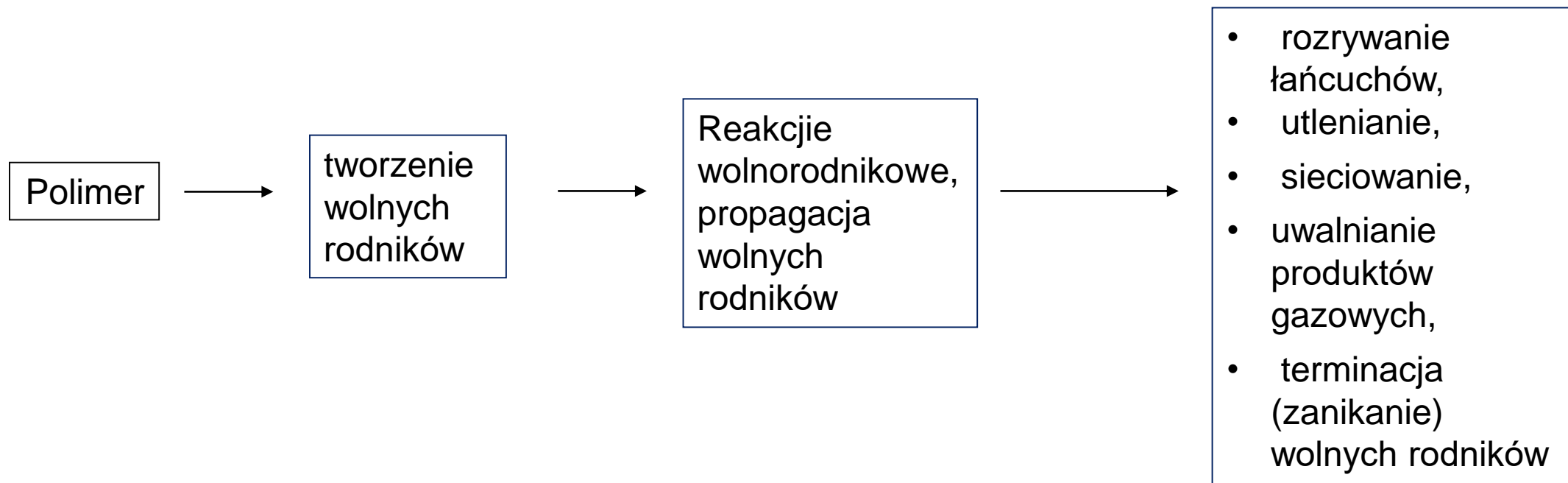


W przypadku procesów zachodzących w rozpuszczalniku (woda, alkohole, etc.): produkty radiolizy rozpuszczalnika uczestniczą w procesach wolnorodnikowych

Polimery – odporność radiacyjna

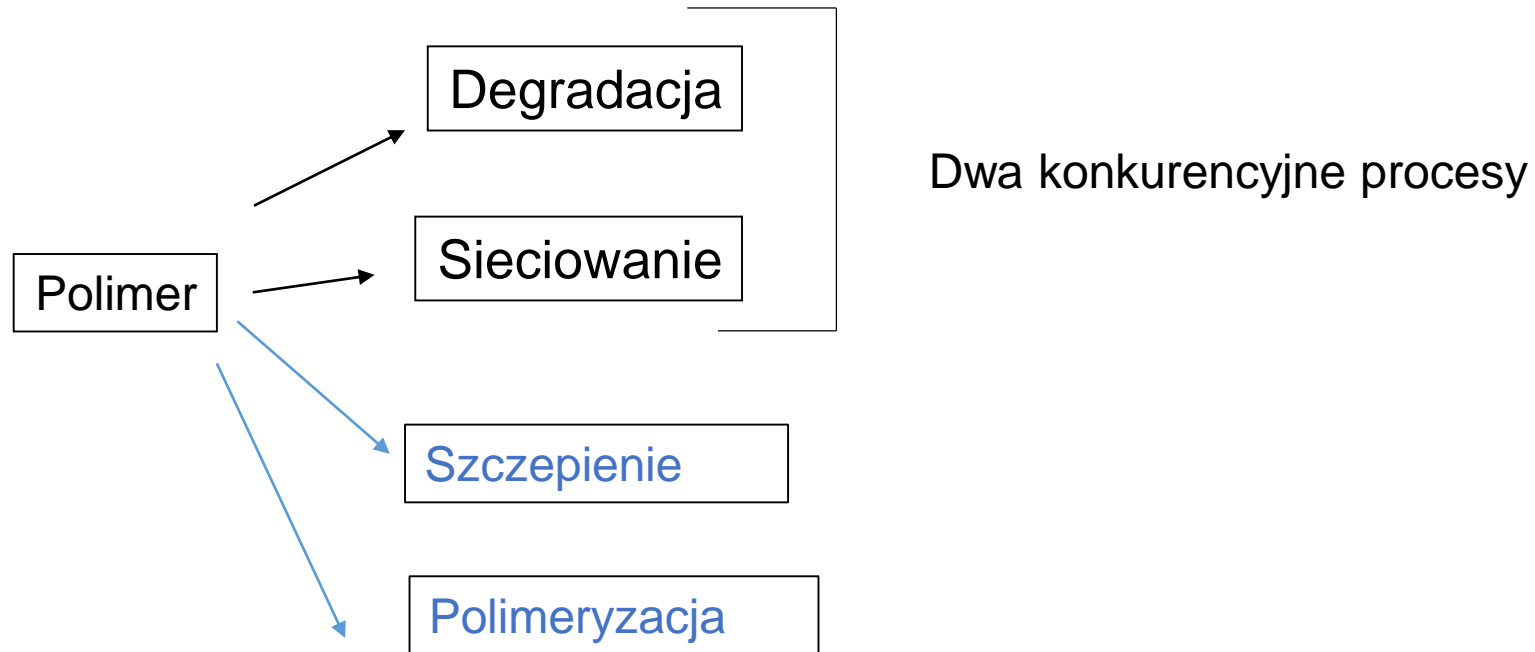
- **Wysoka odporność (bez zmian do 250 kGy (lub wyższych dawek):** zawierające grupy aromatyczne, np. aromatyczne poliamidy i poliimidy, etery polifenolowe, ketony polifenolowe, polisulfony, polietersulfony, polieteroimidy, poli (tereftalan etylenu) (PET);
- **Średnia odporność (100 – 250 kGy): poliolefiny** (np.. Polietylen) poliamidy, alifatyczne i alifatyczno-aromatyczne poliestry;
- **Bardzo wrażliwe:** (zmiany struktury molekularnej przy dawkach niższych od 100 kGy): polimery alifatyczne (np. (polieter, polisulfony) i polimery naturalne: polisacharydy, białka, naturalna guma.

PROCESY ZACHODZĄCE W WYNIKU NAPROMIENIOWNIA



Skutkujące zmianami właściwości fizykochemicznych polimerów

EFEKTY RADIACYJNE W POLIMERACH



Towarzyszy temu modyfikacja struktury cząsteczkowej (np. liczba i charakter wiązań podwójnych) oraz wydzielanie produktów gazowych.

SPECYFICZNE ZALETY PROCESÓW RADIACYJNYCH:

- Możliwość ograniczenia lub wyeliminowania użycia czynników chemicznych,
- Nie ma potrzeby oczyszczania produktów po syntezach
- Zainicjowanie procesu nie wymaga podwyższonej temperatury,
- Łatwa kontrola procesów.
- Można sterylizować i syntetyzować jednocześnie materiały w końcowych opakowaniach

Metody kontroli procesów radiacyjnych

- Rodzaj promieniowania (fotony gamma, elektrony, promieniowanie X lub UV), stałe lub pulsujące;
- środowisko (ciało stałe, roztwór, zawiesina, rodzaj rozpuszczalnika, koncentracja, atmosfera gazowa);
- dawka i moc dawki
- temperatura

W przypadku nowego materiału dla zastosowań biomedycznych niezwykle istotną kwestią jest rozważenie metody sterylizacji końcowego produktu na etapie planowania jego składu

Następujące polimery są interesujące ze względu na sprzęt medyczny i systemów dostarczania leków

- ❖ Poliamidy
- ❖ polistyreny
- ❖ Blendy polistyren –akrylonitryl
- ❖ polietyleny
- ❖ polipropyleny
- ❖ poliuretany
- ❖ Kopolimery etylenu i octanu winylu
- ❖ Blendy poli(winylo piroolidonu)
- ❖ Blendy poli(alkoholu winylowego)
- ❖ Poliestry Alifatyczne
- ❖ Poliestry alifaticzno-aromatyczne
- ❖ Poli(kwas mlekowy)
- ❖ Poli kaprolactam)
- ❖ Poliwęglany
- ❖ Poli(metakrylan metylu) PMMA
- ❖ Poli(chlorek winylu)
- ❖ polysiloksany

MATERIAŁY PODDAWANE STERYLIZACJI

BIOMATERIAŁY – MATERIAŁY PRZEWIDZIANE DO KONTAKTU Z USTROJEM LUDZKIM

- ❖ materiały transplantacyjne
- ❖ nici chirurgiczne
- ❖ katetery
- ❖ rusztowania dla inżynierii tkankowej
- ❖ Wypełniania ubytków kostnych
- ❖ opatrunki (hydrożele)
- ❖ systemy kontrolowanego dostarczania leków
- ❖ Śruby do łączenia kości

Syntetyczne Materiały transplantacyjne (przykłady):

- Panewki stawu biodrowego
- Wkładki w endoprotezach stawu kolanowego
- Soczewki
- Rogówki
- Naczynia krwionośne
- Wątroba

STERYLIZOWANE MATERIAŁY, cd

Inne, np. jednorazowego użytku i dla celów analitycznych:

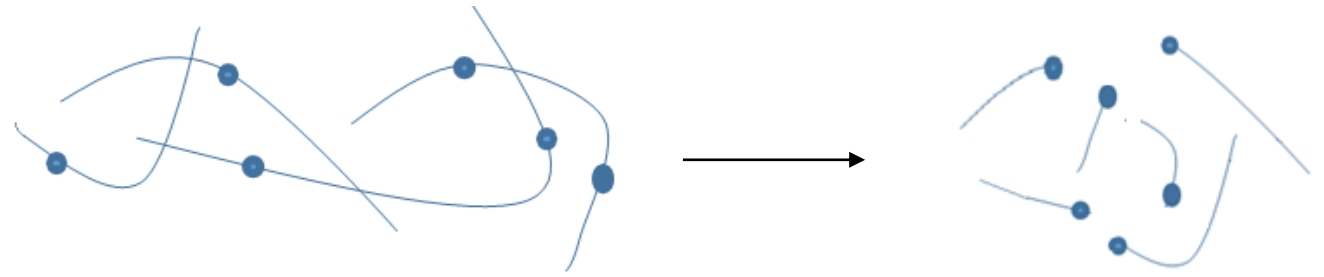
- worki i pojemniki do zbierania moczu,
- ostrza chirurgiczne,
- włókninowe wyroby medyczne (obłożenia pól operacyjnych),
- probówki i pojemniki mikrobiologiczne,
- butelki, nakrętki, zakraplacze,
- wzierniki ginekologiczne,
- pipety Pasteura, szalki Petriego,
- opatrunki,
- opakowania i folie opakowaniowe
- Ubrania i fartuchy ochronne)
- maski i rękawiczki chirurgiczne,



ODPORNOŚĆ RADIACYJNA

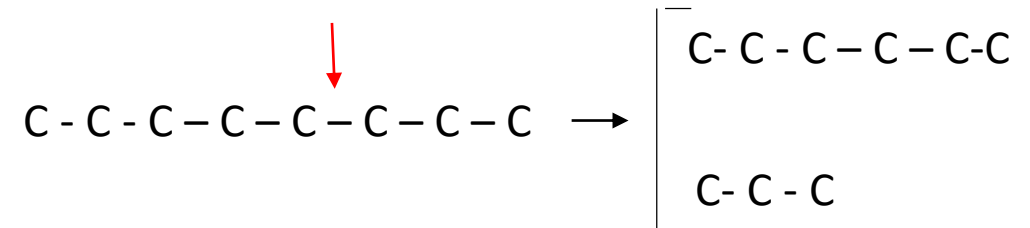
DEGRADACJA I SIECIOWANIE

DEGRADACJA POLIMERÓW



Rozrywanie łańcuchów polimerowych:

- Rozrywanie łańcuchów i ciągły proces **degradacji oksydacyjnej**
- Tworzenie nowych **grup funkcyjnych (polarnych)** w wyniku reakcji zachodzących na końcach łańcuchów (rozerwanie wiązań)



Pogorszenie:

- właściwości mechanicznych (np. kruchość) (
- właściwości cieplnych \longrightarrow możliwości przetwarzania, palność, odporność na temperaturę)

Zmiana barwy (**żółknięcie**)

Wydzielanie produktów gazowych – nieistotne

Polimery degradujące (w warunkach standardowych):

Polipropylen (PP)

PLA, PLLA,

PCL,

Polisacharydy (np..celuloza, estry celulozy)

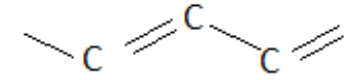
Pochodne kwasu akrylowego

Fluoropolimery

Zmiana barwy :

- Tworzenie grup funkcyjnych zawierających tlen
- Tworzenie sprzężonych wiązań podwójnych
- Tworzenie grup chromoforowych w dodatkach (np. w stabilizatorach, plastyfikatorach, czynnikach wspomagających procesy wytwórcze (process-aid) tp.),

Grupy funkcyjne: **OH, C=O, COOH, NH₂, OSO₃**



Uwalnianie produktów gazowych

H₂, CO₂, CO, produkty niskocząsteczkowe, jak: CH₄, C₂H₅

Łatwo opuszczają polimer

Bez problemu dla sterylizowanego sprzętu medycznego

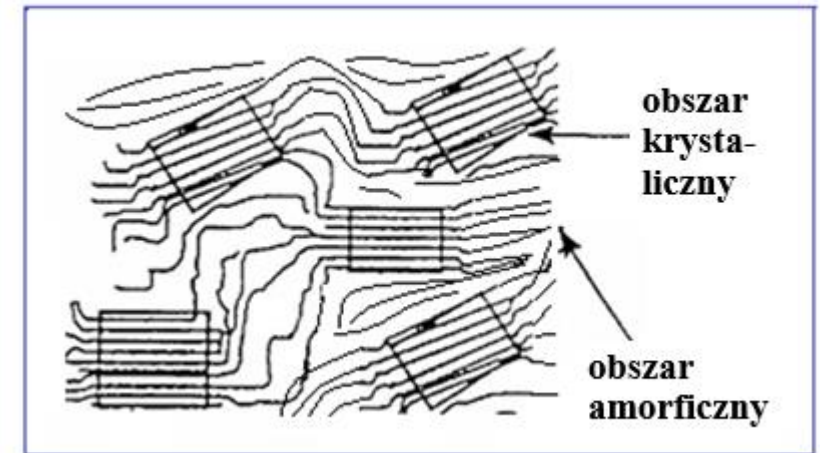
Odporność radiacyjna zależy od :

1. Struktury cząsteczkowej polimeru,
2. Struktury nadcząsteczkowej (polimer amorficzny lub semi-krystaliczny)

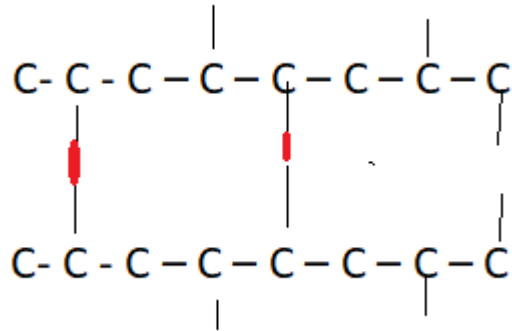
Ad 1: typ wiązań (grupy funkcyjne); **segmenty aromatyczne są bardziej odporne od alifatycznych,**

Ad 2: zasadniczo domeny krystaliczne są bardziej odporne od amorficznych.

Jednakże efekty post radiacyjne są w nich większe.

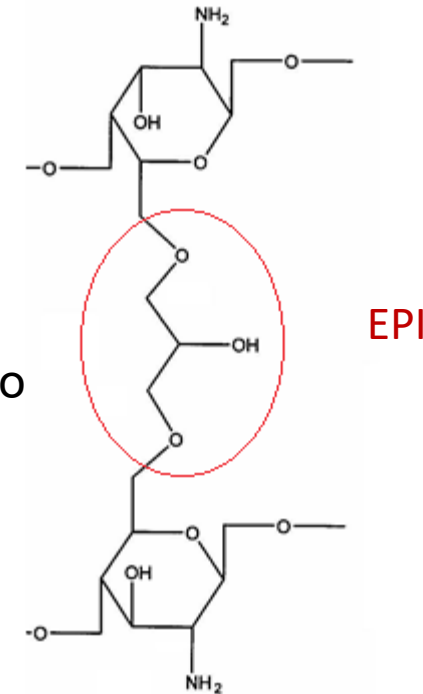


Sieciowanie polimerów poprzez łańcuchy boczne



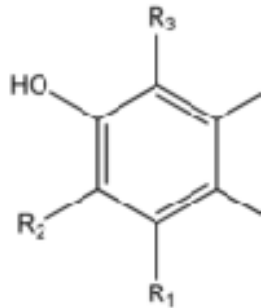
Ograniczenia steryczne dla sieciowania

Dodatek
czynnika
sieciującego



Chitozan - EPI

ODPORNOŚĆ RADIACYJNA – Zależność od struktury cząsteczkowej



Grupy aryłowe
(fenyłowe)
(Wysoka
odporność
radiacyjna)

Efekt ochronny (wewnętrzny efekt ochronny, self-protection)
Grupy ochronne (np. pierścienie aromatyczne) są obecne w cząsteczkach polimeru (ko-polimeru lub blendy). Efekt ochronny obejmuje znacznie szerszy obszar cząsteczki niż sąsiedztwo grupy ochronnej (meru).

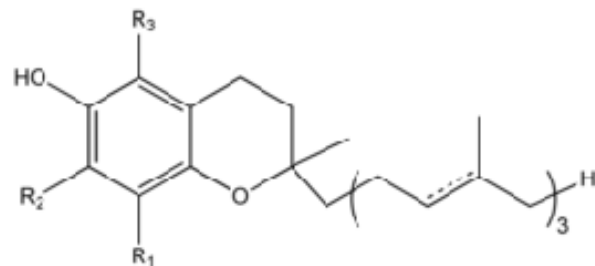
Działanie antyoksydantów:

Rozpraszanie energii lub ładunku w łańcuchu. Efektywne działanie związków aromatycznych.

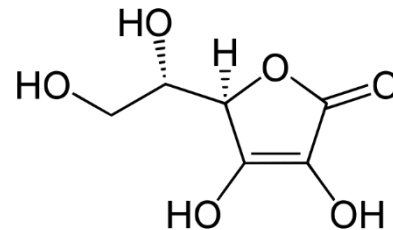
Pierwotne antyoksydanty: blokują etap propagacji wolnych rodników

Antyoksydanty fenyłowe – dostarczają podatny (mobilny) atom wodoru, który reaguje z wolnym rodnikiem polimeru (zatrzymuje propagację)

Wtórne antyoksydanty: blokują rozkład polimeru (dzięki reakcjom rodników wodoronadtlenkowych)



α -tokoferol
R1 = R2 = R3
= CH₃



Kwas
askorbinowy

(Również
„tradycyjne”
(Irganox)

Antyoksydanty HALS (Hindered Amine Light Stabilizers) (stabilizatory UV)

PRZEBIEG PROCESÓW RADIACYJNYCH - Zależność od struktury cząsteczkowej

Podatność na degradację zależy od energii dysocjacji wiązania:

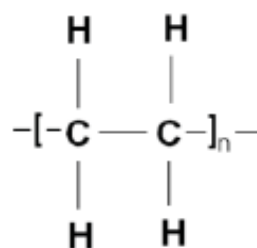
Przypadek: C-H (kJ/mol)

$\text{CH}_3\text{CH}_2^\bullet$	422
$\text{CH}_3\text{CH}^\bullet\text{CH}_3$	413
$(\text{CH}_3)_3\text{C}^\bullet$	397
$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2^\bullet$	357

Sieciovanie – możliwe wtedy, gdy każdy atom C w łańuchu polimeru przyłącza co najmniej jeden wodór

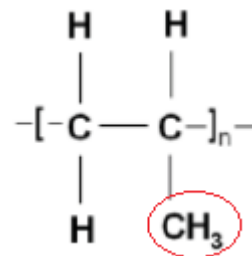
Jeżeli atomy C przyłączają wyłącznie grupy R – **tylko degradacja**

Oderwanie wodoru – początkowy etap procesów wolnorodnikowych

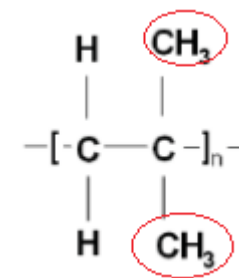


PE

sieciovanie



PP



PIB

degradacja

Poli(izobutylen)

- ❖ **Efekty napromieniowania zależą od zaabsorbowanej dawki,**
- ❖ W przypadku większości polimerów napromieniowanych z użyciem dawki sterylizacyjnej do 30 kGy efekty radiacyjne są niewielkie i można je pominąć,
- ❖ Jednakże wpływ napromieniowania w przypadku każdego poszczególnego polimeru powinien być sprawdzony eksperymentalnie.

Zmiany właściwości fizykochemicznych i funkcjonalnych polimerów mogą wynikać z procesów zachodzących w samym polimerze jak też z procesów zachodzących w dodanych substancjach: plastyfikatorach, stabilizatorach (np. HALS), substancji wspomagających przetwarzalność, itp..

HALS: Hindered Amine Light Stabilizer

EFEKTY POST-RADIACYJNE

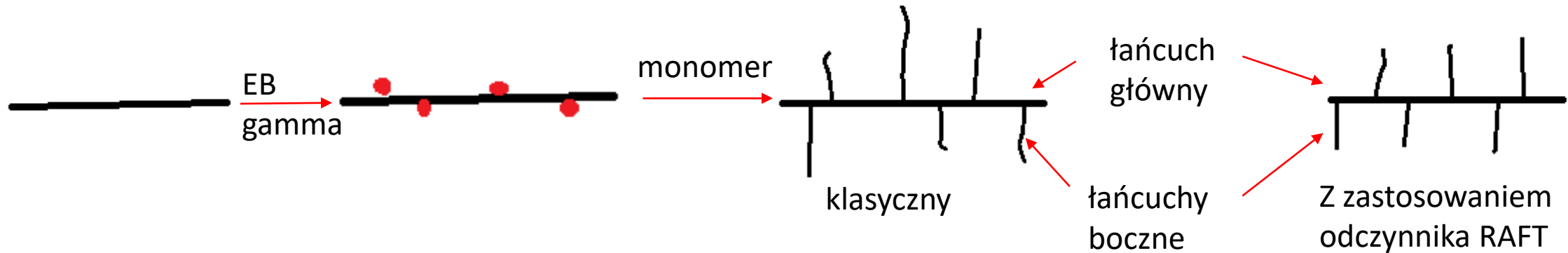
Strategie stosowane celem eliminacji lub redukcji niepożądanych procesów degradacji/degradacji utleniającej:

1. Napromieniowanie w niskiej temperaturze (np. w ciekłym azocie) – ogranicza propagację wolnych rodników,
2. Napromieniowanie w atmosferze ochronnej (beztlenowej),
3. Modyfikacja składu bazowego polimeru (wprowadzenie antyoksydantów i stabilizatorów),
4. Modyfikacja składu bazowego polimeru: kompozycja grup aromatycznych i alifatycznych, dodatek środków sieciujących, które mogą wspomagać procesy sieciowania lub odpowiednich monomerów celem ich szczepienia na drodze radiacyjnej,
5. Napromieniowanie w krótkim czasie z użyciem dużej mocy dawki (zablokowanie dyfuzji tlenu ↔ czas reakcji),
6. *Napromieniowanie w środowisku rozpuszczalnika, który blokuje propagację wolnych rodników*

Efekt napromieniowania zależy od gęstości materiału i od jego postaci. Cienkie folie i włókna są bardziej wystawione na działanie promieniowania w porównaniu do grubych płytek.

SZCZEPIENIE

Syntetyczne polimery dla zastosowań biomedycznych: potrzeba zmodyfikowania właściwości powierzchniowych (biokompatybilności) poprzez wprowadzenie odpowiednich grup funkcyjnych



Stosowane dla biomedycyny w celu (wybrane):

- modyfikacji hydrofilowości powierzchni
- modyfikacji adhezji komórek w inżynierii tkankowej
- modyfikacji kompatybilności wobec białek (np. krwi)
- Modyfikacji mechanicznych (smarnych) właściwości implantów

Jak też dla polepszenia właściwości:

- membran
- absorbentów

Procedury:

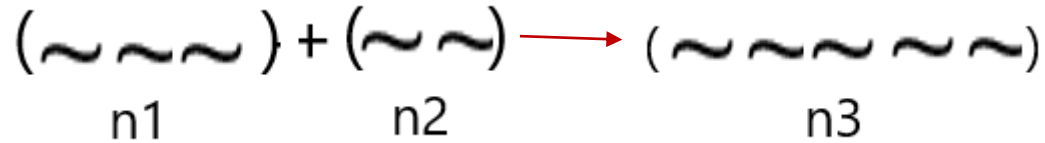
I – bezpośrednia (napromieniowanie polimeru w roztworze monomeru),

II – pośrednie (aktywacja powierzchni polimeru na dradze napromieniowania i późniejsze działanie roztworem monomeru).

RAFT – Radiation Addition-Fragmentation Chain Transfer

POLIMERYZACJA

Zazwyczaj monomery zawierające wiązania podwójne w cząsteczce (C = C) : butadien, styren, etylen, akrylan metylu, metakrylan metylu, akrylonitryl, octan winylu, chlorek winylu, tetrafluoroetylen



Polimeryzacja i Kopolimeryzacja

Układy homogeniczne
Układy heterogeniczne

- Homogeniczne układy wodne (woda):
 - O niskiej koncentracji
 - O wysokiej koncentracji
- Heterogeniczne układy wodne:
 - emulsje i mikroemulsje wodno-olejowe,
 - dyspersje wodne

Zależność wydajności i wielkości cząstek od koncentracji roztworu monomeru i warunków napromieniowania

Steryлизację prowadzi się zazwyczaj z użyciem dawek w zakresie do 30 kGy



diagnostyka	0.1 – 10 mGy
Terapia antyrakowa	1 – 10 Gy
Higienizacja żywności	0.1 – 10 kGy
Sterylizacja radiacyjna	10 – 30 kGy
Technologie radiacyjne	1 - 200 kGy (1 – 1000 kGy)
<i>Dziedzictwo kulturowe, Archiwa</i>	1 – 30 kGy

STERYLIZACJA: NAPROMIENIOWANIA MOŻE POWODOWAĆ PRZEKSZTAŁCENIA POLIMERU: ZARÓWNO POŻĄDANE JAK I NIEPOŻĄDANE

NAPROMIENIOWANIE MOŻNA WYKORZYSTYWAĆ RÓWNIEŻ DO CELEWEJ ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI POLIMERU → TECHNOLOGIE RADIACYJNE

Do MODYFIKACJI POLIMERÓW: DAWKI DO 200 kGy, a nawet wyższe

Do modyfikacji polimerów naturalnych: dawki 1 kGy – 1000 kGy (degradacja natywnych polisacharydów)

NAJLEPIEJ – DAWKA STERYLIZACYJNA ODPOWIADA OPTYMALNEJ DAWCE DLA POŻĄDANEJ MODYFIKACJI POLIMERU

Polietylen o ultra-wysokiej masie cząsteczkowej (UHMWPE) Ultra High Molecular Weight polyethylene)

Wysokousieciowany PE

Implanty:

- Stawu biodrowego (panewki)
- Wkładki w endoprotezach stawu kolanowego

Ekspozycja na wysokie przeciążenia mechaniczne
(zwłaszcza kolano - impulsowe)



Przy wytworzeniu z PE. Czas używania ok 8 lat. Problemy:
- odporność na zużycie (ścieranie)
- Degradacja oksydacyjna PE, ułatwiona w kontakcie z płynami ustrojowymi

ROZWIĄZANIE: UHMWPE – może być wytwarzany (sieciowany) za pomocą techniki radiacyjnej z użyciem dawki sterylizacyjnej lub wyższej:

Problem: EFEKT POST RADIACYJNY (wolne rodniki) → **degradacja oksydacyjna w domenach krystalicznych**

UHMWPE – semikrystaliczny

- Domeny amorficzne – szybka terminacja wolnych rodników
- Domeny krystaliczne – wolne rodniki bardzo stabilne.

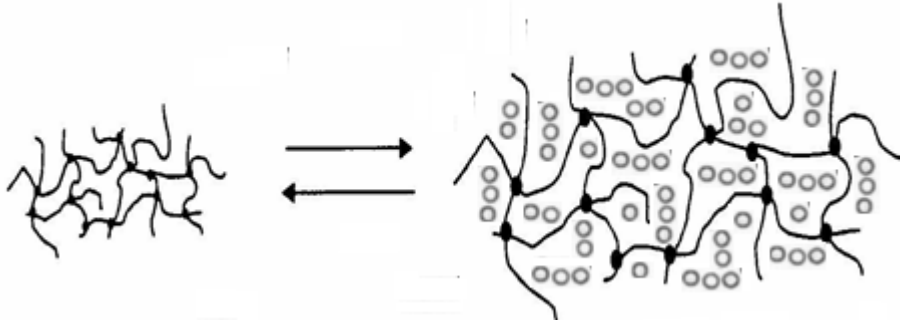
Po sieciowaniu radiacyjnym: pożądane jest by usunąć wolne rodniki z zachowaniem struktury domen krystalicznych

Odpowiednia procedura:

I - PE + antyoksydant (α -tokoferol), napromieniowanie. Wysoka efektywność usuwania wolnych rodników przez α -tokoferol)

NOWE WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE

Wytwarzanie sterylnych hydrożeli techniką radiacyjną



pęcznienie żelu w wodzie (w rozpuszczalniku)

Naturalne hydrokoloidy: polisacharydy i białka, zawierające grupy hydrofilowe OH , COO^- , C=O , OSO_3^- .

Biodegradowalny rozpuszczalny w wodzie syntetyczny polimer

Hydrożel - trójwymiarowa sieć tworzona przez usieciowany hydrofilowy polimer zdolna do zamykania cząsteczek wody.

EB 0 kGy 28 kGy



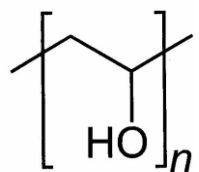
Tworzenie hydrożelu PVA

Zastosowanie hydrożeli :

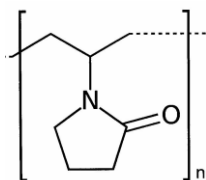
- Medycyna
 - opatrunki
 - Nośniki związków aktywnych (leków)
 - Systemy kontrolowanego dostarczania leków (mikrokapsułkowanie)
 - Kapsułkowanie żywych komórek (organy hybrydowe)
 - Cementy
 - Maty anti-odleżynowe
- Farmacja
- Przemysł spożywczy
- Rolnictwo
- Ochrona środowiska
- Przemysły techniczne (katalizatory)

Polimeryzacja z późniejszym sieciowaniem

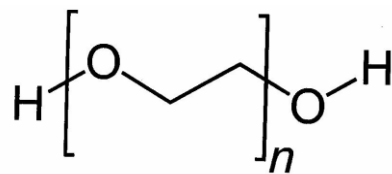
Biodegradowalny rozpuszczalny w wodzie syntetyczny polimer stosowany do wytwarzania hydrożeli



PVA



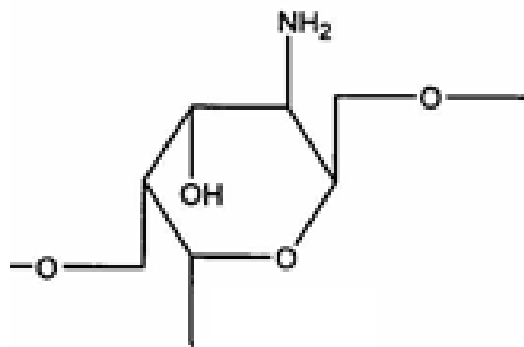
PVP



PEO

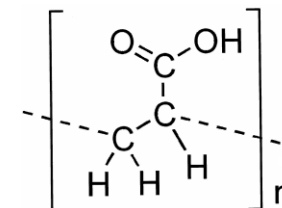
Sieciowanie

Naturalne polimery: polisacharydy i białka żelatyna i rozpuszczalne w wodzie pochodne celulozy, skrobi, chitozanu, karagenu, agaru, alginianów, itp.

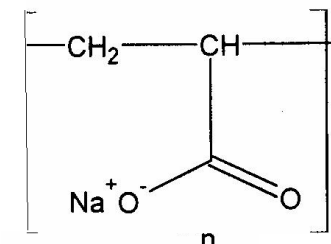


chitozan

Szczepienie



Kwas poli(akrylowy)



Poli(akrylany) (poliakrylan Na)

Szczepienie kwasu akrylowego na szkielecie polisacharydowym

Wytwarzanie sterylnych opatrunków hydrożelowych na drodze radiacyjnej

Skład: jeden lub więcej:

- syntetyczny polimer rozpuszczalny w wodzie;
- polimer naturalny
- układ mieszany: polimery syntetyczne i naturalne

Standard: PVA, PVP, PEO

Składniki:

- Bazowy polimer: PVA, PVP, PEO
- Antyoksydant (spożywczy): AA, polisacharyd, itp., Biokompatybilny absorbent wilgoci: poliglicol (PEG, PPG) mleczan etylu)
- Promotor sieciowania (pochodna kwasu akrylowego, akrylany)

Dyspersja wodna składników umieszczona w odpowiedniej formie, zapakowana, poddana napromieniowaniu → sterylny opatrunek



Opatrunki hydrożelowe po napromieniowaniu EB (28 kGy) (Kik-Gel, Polska)

Wytwarzanie sterylnych opatrunków hydrożelowych na drodze radiacyjnej, cd

Zastosowanie mieszanych układów polimer naturalny- polimer syntetyczny lub niewielki dodatek polisacharydu do polimeru syntetycznego może skutkować w polepszeniu właściwości hydrożelu w porównaniu do hydrożeli tworzonych wyłącznie na bazie polimeru syntetycznego. (mocniejszy, większa zawartość wilgoci)

Chitozan – aktywność **przeciwdrobnoustrojowa**

Karageny – aktywność **hemostatyczna**

Przykład:

kompozycja **PVP (+ agar i PEO)**,
pseudo-żel, zapakowany,
napromieniowany dawką
sterylizacyjną (25 – 30 kGy)
(Kik-Gel – Polska)

Zastosowania w lecznictwie i w kosmetologii (Kik-Gel Polska, 2020)



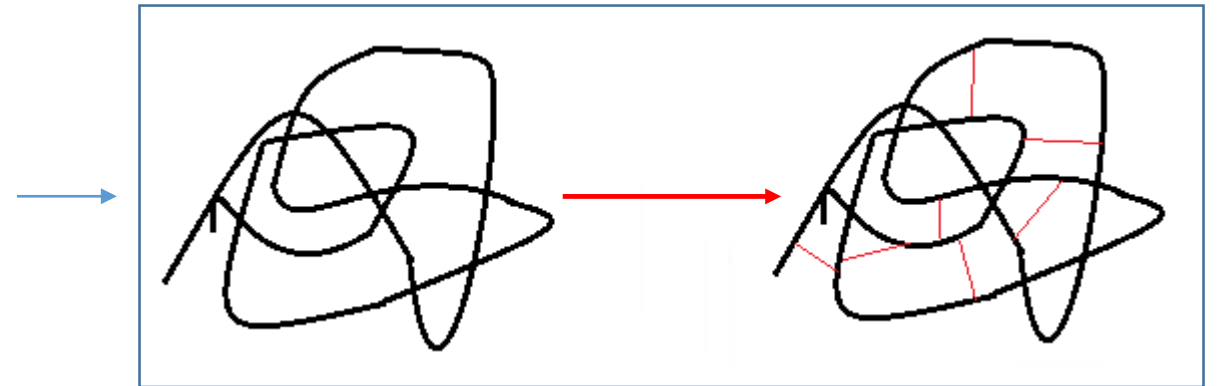
Hydrożele w medycynie: Zalety

Opatrunki: Możliwość kontrolowanego dostarczenia leków do ran

Inne systemy kontrolowanego dostarczenia leków

Scaffoldy

NANOŻELE: tworzą się na drodze sieciowania wewnątrzcząsteczkowego



dla **SYSTEMÓW KONTROLOWANEGO DOSTARCZANIA LEKÓW**

ORGANY HYBRYDOWE (kapsułkowanie żywych komórek) – **PRZYSZŁOŚĆ TRANSPLANTOLOGII**

Inteligentne hydrożele dla diagnostyki

Substytuty błonnika pokarmowego (np hydrożel PVP z chitozanem)

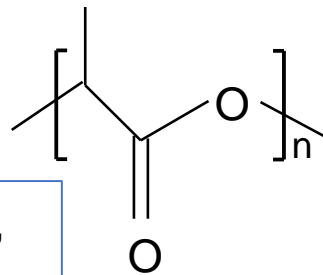
PLA (PLLA) – POLIMER DEGRADUJĄCY

Doskonały dla skafoldów dla inżynierii tkankowej, szwy chirurgiczne, etc.

Ale degraduje pod wpływem promieniowania →

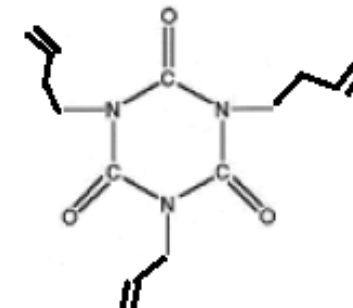
- **Nieodpowiedni dla implantów**

Napromieniowanie przy -78 C ogranicza degradację

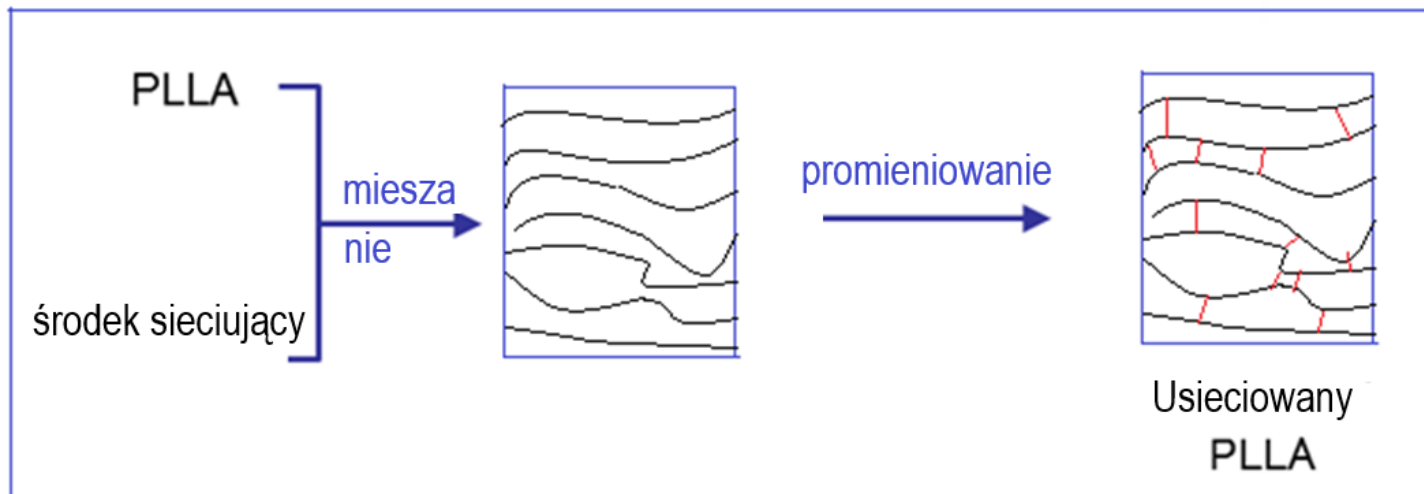


Biokompatybilny polimer uzyskiwany z surowców naturalnych, dobre właściwości mechaniczne i termiczne, doskonała przetwarzalność, bioresorbowalny

Przykładowy środek sieciujący: Izocyjanuran triallilu i (TAIC) – na bazie naturalnej (z kwasu galusowego)



Rozwiązanie: Dodatek środka sieciującego



Efektywne sieciowanie: 3 % TAIC, 25 kGy

Proces można stosować do otrzymywania soczewek kontaktowych

Poli (metakrylan metylu) (PMMA)

Szkło akrylowe stosowane do sztucznych rogówek. Może być sterylizowane radiacyjnie
(Andrades et. Al., 2018)

Poli (metakrylan metylu) (PMMA) i Poli(kaprolactam) (PCL)

Wysoce porowate rusztowania do inżynierii tkankowej (wzrost osteoblastów) można wykonać techniką radiacyjną. Materiały można sterylizować promieniowaniem jionizującym

Poli (estro uretany) – materiał złożony z segmentów poli (uretanowych) i segmentów PCL
Rusztowania do inżynierii tkankowej (osteoblast). Sterylizacja radiacyjna nie wpływa na żywotność i naturę komórek hodowanych na powierzchni. Aby ograniczyć \longleftrightarrow napromieniowanie w atmosferze
(Przybytniak et.al, 2006)

Poliester alifatyczny/aromatyczny - złożony z poli (tereftalanu butylenu) (PBT) (segment twardy) i kwasu dinolowego (DL, segment miękkie) - biokompatybilny. Właściwości i odporność na promieniowanie zostały zmodyfikowane przez zmianę stosunku PBT:DL oraz przez zmianę zawartości antyoksydanta ((α -tokoferol) (M. El-Fray et al., 2010)

Napromieniowanie rusztowań (skafoldów) dla inżynierii tkankowej

- Scaffold – 1. materiał biologiczny
2. polimer + materiał biologiczny

Końcowy product: \longleftrightarrow Musi być sterylny

STERYLIZACJA RADIACYJNA PRZYTACZANA JAKO
NAJLEPSZA METODA

Przykład (Inoue et al., 2020):

1. Scaffold (poliester, jedna strona o wysokiej porowatości)
2. Umieszczony w mięśniu kozy, na 3 miesiące \rightarrow zasiedlona przez komórki \rightarrow utworzenie trójwymiarowej sieci kolagenowej
3. Usunięte z mięśnia kozy
4. Usunięte komórki kozy – (celem uniknięcia reakcji immunologicznej biorcy)
5. Sterylizowana za pomocą 6 metod (autoklaw, suszaka, tlenek etylenu, nadtlenek wodoru, **metoda radiacyjna** \rightarrow Sterylizacja radiacyjna – najlepsza

Skafoldy polimerowe

- Rdzeń polimerowy
- Pokryty biologicznym rusztowaniem umożliwiającym namnażanie komórek (kolagen)
- **Sterylizacja**
- Stosowany do hodowli tkanek biorcy

Ważne cechy rusztowań

- kształt, struktura,
- Właściwości mechaniczne,
- Zwilżalność,
- Adhezja komórek
- Rozmnażanie komórek,
- Przeżywalność komórek

DEKONTAMINACJA I KONSOLIDACJA RADIACYJNA INNYCH MIKROBIOLOGICZNIE SKAŻONYCH OBIEKTÓW : DZIEDZICTWO KULTUROWE

Archiwa, historyczne manuskrypty, obiekty drewniane (rzeźby, ikony, meble), skórzane, obiekty biologiczne (mumia, mamut) etc

Skażone przez: pleśnie, grzyby, owady

Problemy:

1. Materiały wytworzone na bazie polimerów naturalnych : głównie celulozie, kolagenie, które są wrażliwe i degradują pod wpływem promieniowania,
2. Cenne, unikalne obiekty, bardzo ważne dla dziedzictwa kulturowego

Rozwiązania:

1. StosowaNie dawek minimalnych i tylko w przypadku bardzo uszkodzonych
2. Konsolidacja: impregnacja roztworem monomeru który polimeryzuje pod wpływem promieniowania

Uważa się, że napromieniowanie papieru z użyciem dawek do 3 kGy nie powoduje istotnych zmian.

IAEA Technical Cooperation Project – RER 8015: Using Nuclear Techniques for the Characterization and Preservation of Cultural Heritage Artefacts in the European Region

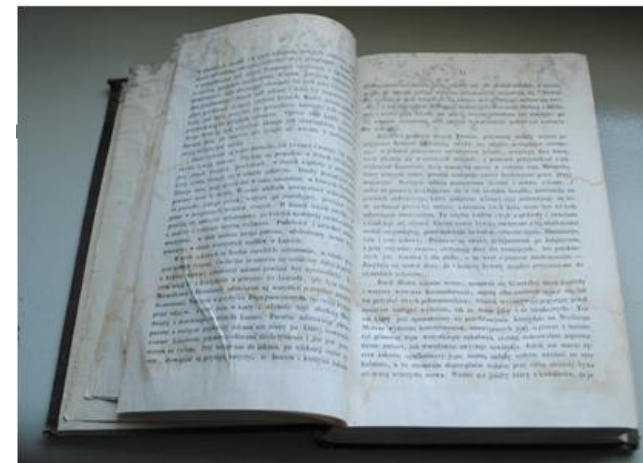


photo A. Kuberka, ALTO PROTECT, Poland

DEKONTAMINACJA I MODYFIKACJA RADIACYJNA INNYCH MIKROBIOLOGICZNIE SKAŻONYCH OBIEKTÓW : Żywność i składniki żywności

- Radiacyjna dekontaminacja żywności (dawki standardowe do 10 kGy (sucha żywność)
- Modyfikacja dodatków do żywności: degradacja lub sieciowanie
Prowadzi do modyfikacji funkcjonalnych właściwości hydrokoloidów żywności (lepkość, zdolność do żelowania, środek zagęszczający, etc.)
- Modyfikacja właściwości funkcjonalnych samej żywności (np. poprawienie strawiania)

Hydrokoloidy żywności : polisacharydy, białka

Zasadniczo, napromieniowanie polisacharydów prowadzi do redukcji lepkości dyspersji wodnych (degradacja).

W niektórych przypadkach lepkość rośnie (sieciowanie) (Katayama et al., 2006)

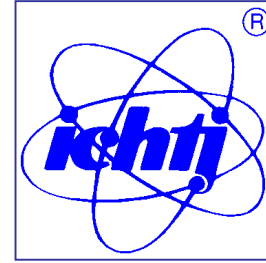
Korespondencja przychodząca

Stosowana w urzędach centralnych USA od czasu ataku terrorystycznego za pomocą węgla *bacillus anthrax* w 2001 roku Wysokie dawki (30-60 kGy), dla dłuższego przechowywania można digitalizować dane

Może to być przydatne w dobie obecnej pandemii COVID 19

WNIOSKI

- ❖ Promieniowanie jonizujące powoduje pożądane i niepożądane zmiany w materiałach;
- ❖ Efekty napromieniowania zależą od składu materiału i od warunków w jakich prowadzony jest proces radiacyjny;
- ❖ W przypadkach wielu polimerów napromieniowanie w zakresie dawek sterylizacyjnych w zakresie do 30 kGy nie powoduje istotnych zmian i efekty napromieniowania można pominąć;
- ❖ Można uniknąć niepożądanych zmian w napromieniowanym materiale dzięki modyfikacji składu polimeru i warunków napromieniowania;
- ❖ Powinno to być zoptymalizowane dla każdej kompozycji polimerowej eksperymentalnie;
- ❖ W przypadku nowego materiału dla zastosowań biomedycznych niezwykle istotną kwestią jest rozważenie metody sterylizacji końcowego produktu na etapie planowania jego składu
- ❖ **OPTYMALIZACJĘ PROCESU STERYLIZACJI RADIACYJNEJ OSIĄGA SIĘ WTEDY, GDY WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU POPRAWIAJĄ SIĘ LUB GDY UZYSKUJE ON NOWE WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE PRZY DAWCE STOSOWANEJ DO STERYLIZACJI.**



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Podziękowanie: Dziękuję Pani Profesor
Grażynie Przybytniak za udostępnienie
materiałów naukowych

