

Materiały elektroizolacyjne - podział

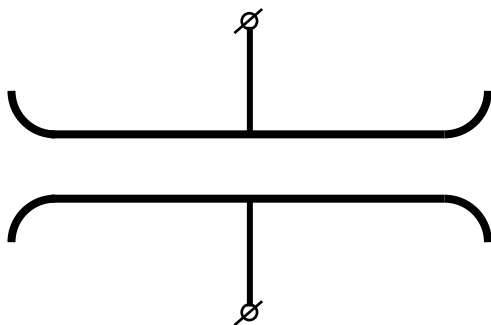
Dielektryki gazowe

Są stosowane w układach izolacyjnych wielu urządzeń elektrycznych, współpracują z elementami izolacyjnymi z materiałów stałych.

Dielektryki gazowe mogą być jedno- lub wieloskładnikowe. Ich podstawowe własności to:

- rezystywność $\rho = 10^{17} \dots 10^{18} \Omega\text{m}$,
- praktycznie pomijalna stratność $\text{tg}\delta = 10^{-8} \dots 10^{-7}$,
- przenikalność elektryczna powietrza $\varepsilon_r = 1,00059$.

Różnią się wytrzymałością elektryczną. Miarą wytrzymałości elektrycznej gazu jest napięcie przeskoku w nim iskry między równoległymi elektrodami płaskimi o odstępnie 1 cm.



Szkic układu elektrod do badania wytrzymałości elektrycznej dielektryków gazowych

Powietrze atmosferyczne

Własności powietrza atmosferycznego:

- skład: 78 % N₂, 21 % O₂, 1 % CO₂ + H₂ + gazy szlachetne,
- warunki normalne: $p_n = 1013 \text{ hPa}$, $T_n = 293 \text{ K}$ i $w_n = 8,5 \text{ g}$ wody w 1 m³ powietrza,
- gęstość powietrza $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
- wytrzymałość elektryczna $U_p \cong 32 \text{ kV}$ (elektrody płaskie, odstęp 1 cm),
- istotne czynniki: zanieczyszczenia, mgła, deszcz, śnieg, grad.

Wydzielone składniki powietrza

Azot

- niepalny, nietoksyczny, tani, obojętny (do około 60 °C),
- własności elektryczne zbliżone do własności powietrza,
- stosowany pod ciśnieniem do kilkunastu atmosfer.

Gazy syntetyczne

Sześćciofluorek siarki (SF₆)

- bezbarwny, bezwonny, niepalny i nietoksyczny,
- chemicznie obojętny i trwały do temperatury prawie 800 K,
- gęstość pięciokrotnie większa od powietrza,
- najważniejsza własność - elektryczność,
- wytrzymałość elektryczna 89 kV (elektrody płaskie, odstęp 1 cm),
- temperatura skraplania -63°C ,
- stosowany jako izolacja urządzeń wysokiego napięcia: kabli, transformatorów, łączników, kompletnych rozdzielnic elektroenergetycznych.

Dielektryki ciekłe

Oleje mineralne

Oleje izolacyjne otrzymuje się z wybranych gatunków ropy naftowej przez jej destylację (frakcje od 8 do 12 atomów węgla w cząsteczce).

Przeprowadza się rafinację olejów z zastosowaniem kwasów (H_2SO_4), które wiążą niepożądane składniki. Następnie oczyszcza się je z reagentów i produktów rafinacji przez ługowanie, przemywanie wodą i filtrowanie.

Oleje mineralne izolacyjne to mieszanina węglowodorów:

- parafinowych - łańcuchy węglowe, C_nH_{2n} ($n = 8...12$),
- naftenowych - pierścienie węglowe, np. dekalina, $C_{10}H_{18}$,
- aromatycznych - pierścienie węglowe, pochodne benzenu.

Podstawowe własności elektryczne olejów mineralnych:

- $\rho = 10^8...10^{12} \Omega m$,
- $\epsilon_r = 2,1...2,5$,
- $tg\delta = 0,001...0,01$,
- $U_p = 100...150$ kV (elektrody płaskie w odległości 1 cm).

Oleje syntetyczne

- chlorowane dwufenyle (wycofywane z eksploatacji),
- oleje silikonowe (mieszanki krzemowodorów):
 - trudniej zapalne niż oleje mineralne,
 - wysoka wytrzymałość cieplna (do 200°C),
 - niska temperatura krzepnięcia (do -90°C),
 - nieco mniejsza wytrzymałość elektryczną niż olejów mineralnych,
 - rzadko stosowane - wysoka cena.

Inne syntetyczne ciecze izolacyjne

(rzadko stosowane)

- syntetyczne węglowodory aromatyczne:
 - mała wartość stratności elektrycznej ($\text{tg}\delta \cong 10^{-4}$),
- estry:
 - stosunkowo duża przenikalność elektryczna ($\epsilon_r = 3...6$).

Dielektryki stałe nieorganiczne

Materiały stapiane (szkła)

Kryterium podziału szkieł jest ich skład chemiczny i temperatura mięknięcia. W szklach wyróżnia się składniki szklotwórcze i modyfikujące.

Podstawowe grupy szkieł:

- 1) szkło o bardzo niskiej temperaturze mięknięcia $< 300^{\circ}\text{C}$,
np. szkło ołowiowo-borowe (90% PbO , 10% B_2O_3) szkliwo wiążące, spoiwo do innych szkieł,
- 2) szkło miękkie ołowiowo-krzemowe, temp. mięk. $< 550^{\circ}\text{C}$,
izolatory, części konstrukcyjne elektrycznych źródeł światła,
- 3) szkło miękkie wapniowo-alkaliczne, temp. mięk. $550\text{...}700^{\circ}\text{C}$
(składniki podstawowe: 70% SiO_2 , 16% Na_2O , 6% CaO),
żarówki, świetlówki, klosze lamp,
- 4) szkło półtwarde borowo-krzemowe, temp. mięk. $700\text{...}750^{\circ}\text{C}$
(20% B_2O_3 , 73% SiO_2), mała stratność elektryczna, mała rozszerzalność cieplna, elementy izolacyjno-konstrukcyjne urządzeń w.c.z., szczelne połączenia z metalami,

- 5) szkło twarde glinowo-borowo-krzemowe, temp. mięk. 750...950°C (20% Al_2O_3 , 9% B_2O_3 , 56% SiO_2), złącza z metalami, elementy odporne na zmiany temperatury,
- 6) szkło kwarcowe (minimum 96% SiO_2) i kwarc topiony, temp. mięk. do 1660°C, elementy o małej stratności elektrycznej i dużej wytrzymałości mechanicznej.

Włókno szklane

- zawiera około 54% SiO_2 i mniej niż 0,8% tlenków alkalicznych,
- wytrzymałość mechaniczna większa niż większości włókien naturalnych i syntetycznych,
- współczynnik wydłużalności cieplnej, około $5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$,
- rodzaje włókien szklanych:
 - ultracienkie o średnicy mniejszej od 1 μm ,
 - mikronowe o średnicy od 1 do 3 μm ,
 - normalne o średnicy od 3 do 9 μm ,
 - roving o średnicy od 9 do 12 μm .

Zastosowanie włókna szklanego:

- oploty izolacyjne drutów nawojowych,
- materiały tkane o różnej jakości i grubości (jedwab szklany, tkaniny szklane, maty szklane),
- włókno szklane jest składnikiem:
 - materiałów izolacyjnych złożonych, tzw. laminatów,
 - izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych.

Własności elektryczne szkieł (wartości orientacyjne):

- $\varepsilon_r > 3,9$ (dla szkieł ołowiowych $\varepsilon_r = 16,5$),
- $\operatorname{tg}\delta$ dochodzi do 0,1 (czysty kwarc $\operatorname{tg}\delta = 0,0001$),
- $\rho_v = 10^8 \Omega\text{m}$ dla szkieł alkalicznych,
- $\rho_v = 10^{18} \Omega\text{m}$ dla czystego kwarcu.

Materiały wypalane (ceramika)

Ceramika to bogaty zbiór materiałów o różnorodnych własnościach.

Wyróżnia się osiem podstawowych grup materiałów ceramicznych:

- 1) porcelana elektrotechniczna, surowce:
kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), krzemionka (SiO_2) i skaleń
($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$),
- 2) ceramika steatytowa ($\text{talk } 3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$),
- 3) ceramika kondensatorowa ($\epsilon_r = 10$ do 160),
- 4) ceramika kordierytowa i celsjanowa (łuko- i żaroodporna),
- 5) ceramika porowata (materiały szamotowe),
- 6) ceramika alundowa (90...98% Al_2O_3)
- 7) ceramika korundowa (Al_2O_3 powyżej 98%),
- 8) ceramika tlenkowa (BeO , MgO , ZrO_2).

Mika

- nieorganiczny materiał kopalny o strukturze warstwowej,
- mika potasowa, *muskowit*, $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$,
- mika magnezowa, *flogopit*, $K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$,
- muskowit - lepszy: $\rho_v \cong 10^{14} \Omega m$, $\epsilon_r \cong 7$, $tg\delta \cong 0,0004$,
- E_p muskowitu około $1300 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ (płytką o grubości 0,05 mm),
- mikę wydobywa się metodami górniczymi w postaci bloków,
- oczyszczanie i dzielenie na płytki o grubości od 0,05 do 0,17 mm,
- dalszy podział - mika łuszczona,
- najcieńsze uzyskiwane płytki miki mają grubość około $0,2 \mu m$,
- odpad po oczyszczeniu stanowi 90% materiału wyjściowego,
- *mika syntetyczna* (fluoroflogopit) $KMg_3AlSi_3O_{10}F_2$,
- mikę syntetyczną wytapia się w piecach elektrycznych.

Dielektryki stałe organiczne

Materiały łatwo topliwe

- dzielą się na trzy podgrupy: żywice, asfalty i woski,
- większość materiałów jest pochodzenia naturalnego,
- niektóre materiały naturalne są modyfikowane chemicznie,
- temperatura mięknięcia od kilkudziesięciu do stu kilkudziesięciu stopni Celsjusza,
- materiały hydrofobowe (duża rezystywność powierzchniowa),
- duża plastyczność większości materiałów.

Niskotopliwe żywice naturalne i syntetyczne

Kalafonia - naturalna żywica pochodzenia roślinnego uzyskiwana w procesie destylacji frakcyjnej żywicy sosnowej,

Kopale - naturalne żywice uzyskiwane z pewnych gatunków drzew,

Szelak - żywica naturalna pochodzenia zwierzęcego,

Żywice syntetyczne - wielkocząsteczkowe produkty polimeryzacji różnych związków organicznych.

Asfalty naturalne, ponaftowe i węglowe

Asfalty naturalne - mieszanina węglowodorów z dodatkiem siarki, tlenu i azotu - materiały kopalne,

Asfalty ponaftowe - asfalty sztuczne, pozostałość po destylacji ropy naftowej bezparafinowej,

Asfalty węglowe - najcięższe frakcje suchej destylacji węgla.

Woski

Parafina - z ropy naftowej parafinowej, C_nH_{2n+2} n około 30,

Cerezyna - podobna do parafiny - z ozokerytu (wosku ziemnego),

Wosk carnauba - z liści rosnącej w Brazylii palmy Carnauba,

Woskol - wosk syntetyczny - produkt chlorowania naftalenu ($C_{10}H_8$).

Materiały włókniste

- materiały naturalne pochodzenia roślinnego,
- materiały sztuczne (materiały roślinne przetworzone chemicznie),
- materiały naturalne pochodzenia zwierzęcego,
- materiały syntetyczne (otrzymane z żywic syntetycznych).

Materiały naturalne pochodzenia roślinnego

- podstawowy składnik: celuloza $(C_6H_{10}O_5)_n$,
- surowiec: drewno, bawełna, len, konopie i juta:
 - *bibułka celulozowa* - najcieńszy wyrób papierowy,
 - *papier izolacyjny* - grubość rzędu 0,05...0,1 mm,
 - *preszpan* - twardy (zwykły), miękki (formowalny),
 - *sznury, taśmy, tkaniny* - z bawełny, lnu, konopi i juty.

Materiały roślinne przetworzone chemicznie

- *bawełna acetylowana* (kotopa) - otrzymywanie: reakcja zawartego w celulozie błonnika z chlorkiem kwasu octowego,
- *jedwab octanowy* - produkt przeróbki chemicznej celulozy,
- *jedwab wiskozowy* - produkt przeróbki chemicznej celulozy.

Materiały naturalne pochodzenia zwierzęcego

- *jedwab naturalny* - dobre własności izolacyjne i mechaniczne.

Materiały syntetyczne

- *włókna poliamidowe* (nylon, stylon, kapron, perlon) - dobre własności izolacyjne i duża wytrzymałość mechaniczna.

Elastomery (gumy)

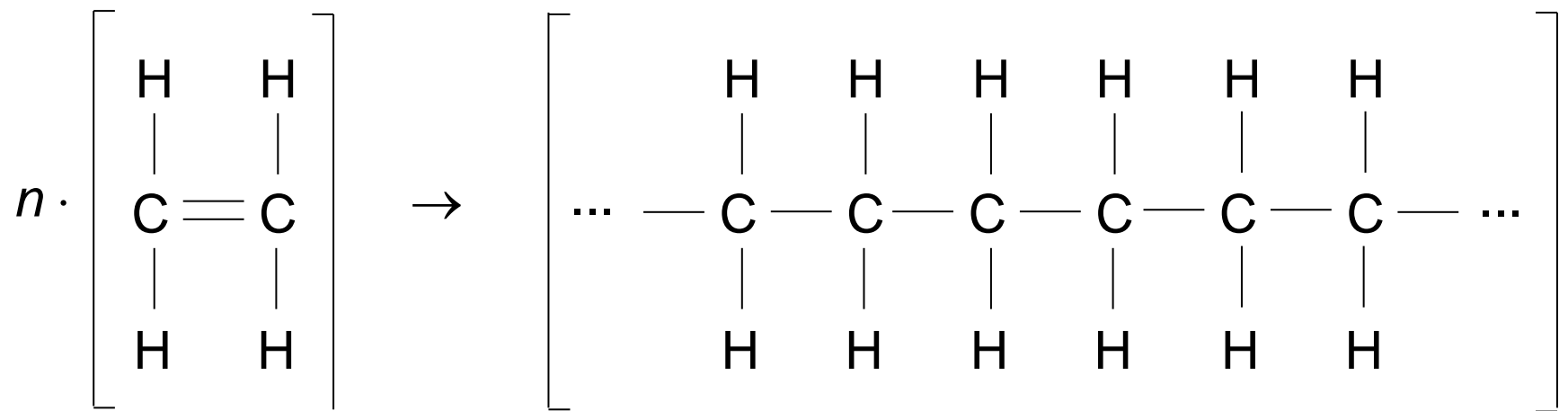
- polimery organiczne,
- cząsteczki mają kształt spiralny lub zygzakowaty,
- surowiec: kauczuki naturalne i syntetyczne,
- wulkanizacja - sieciowanie (wiązania międzyatomowe poprzeczne),
- odkształcenie elastyczne w granicach 100...1000%.

Najczęściej stosowane elastomery:

- *kauczuk butadienowy* - najbardziej rozpowszechniony, produkt polimeryzacji butadienu (C_4H_6),
- *kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy* - produkt kopolimeryzacji butadienu i akrylonitrylu,
- *kauczuk butadienowo-styrenowy* - produkt kopolimeryzacji butadienu i styrenu (C_8H_8),
- *kauczuk butylowy* - produkt kopolimeryzacji izobutyleny (C_4H_8) i izoprenu (C_5H_8),
- *kauczuk silikonowy* - łańcuch cząsteczek z połączonych na przemian atomów krzemu i tlenu.

Termoplasty

- materiały syntetyczne składające się z polimerów organicznych,
- cząsteczki mają najczęściej kształt liniowy niekiedy rozgałęziony,
- makrocząsteczki powiązane słabymi wiązaniami międzycząsteczkowymi,
- możliwości wielokrotnego topienia lub zmiękczenia,
- należą do najlepszych materiałów izolacyjnych (polietylen, polipropylen):
 - $\rho_v = 10^{16} \Omega\text{m}$,
 - $\text{tg}\delta = 0,0001$,
 - $\varepsilon_r \cong 2,2 \dots 2,7$,
 - E_p do $1000 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ (warstwa około 0,1 mm),
- łatwe formowanie przez: wtryskiwanie, wytłaczanie, wyciąganie, prasowanie, odlewanie,
- proces sieciowania - połączenie wiązaniami międzyatomowymi makrocząsteczek metodą chemiczną lub przez napromieniowanie,
- sieciowanie zwiększa wytrzymałość mechaniczną, odporność cieplną i odporność na starzenie.

Polietylen (PE)

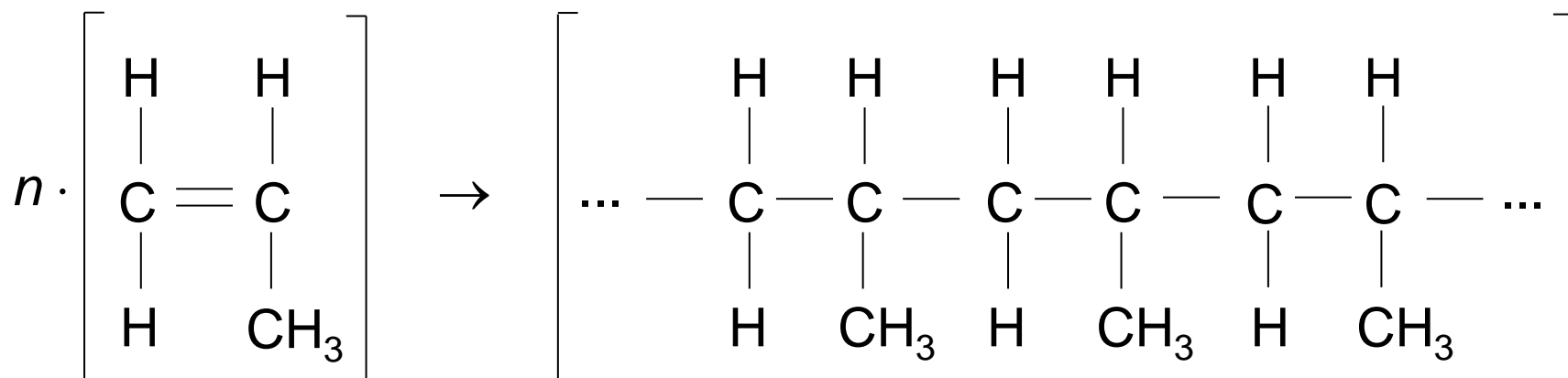
Polimeryzacja etylenu:

- metoda wysokociśnieniowa - PE o gęstości (0,91...0,92 g·cm⁻³,
- metoda średnociśnieniowa - PE o gęstości 0,93...0,94 g·cm⁻³,
- metoda niskociśnieniowa - PE o gęstości i 0,95...0,96 g·cm⁻³,

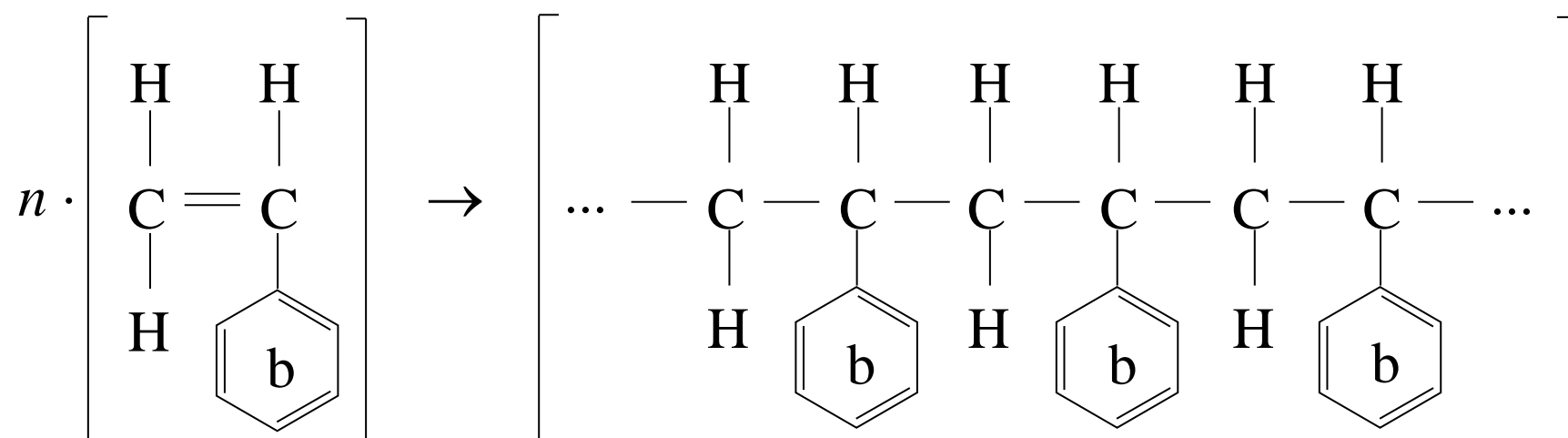
Struktura regularna: kryształy - udział objętościowy 40...95%,

Polietylen o małej gęstości usieciowany (XLPE):

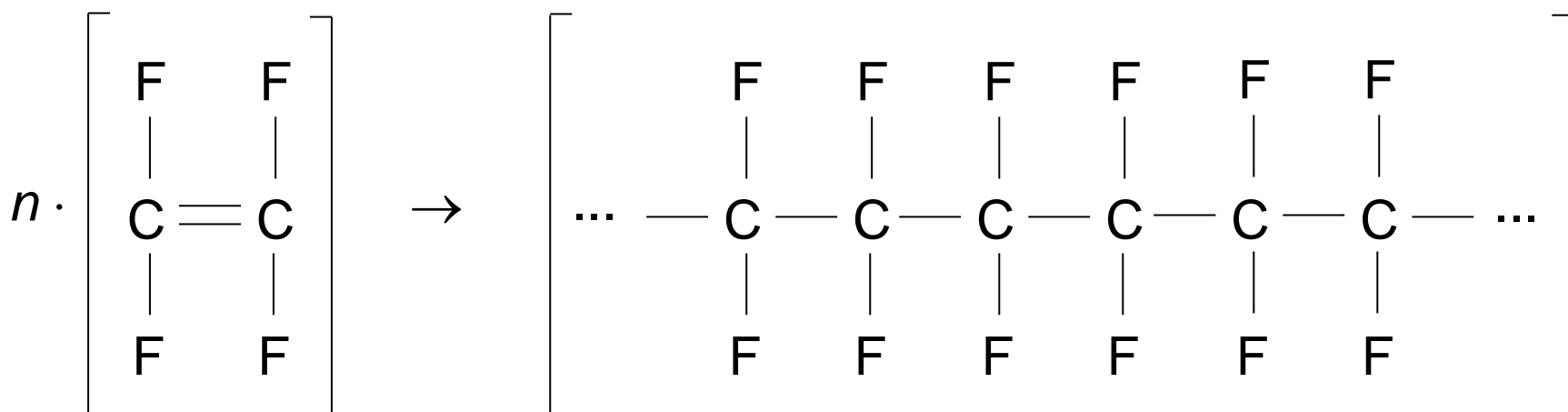
- dopuszczalna temperatura pracy ciągłej do 90°C,
- szerokie zastosowanie izolacyjne.

Polipropylen (PP)

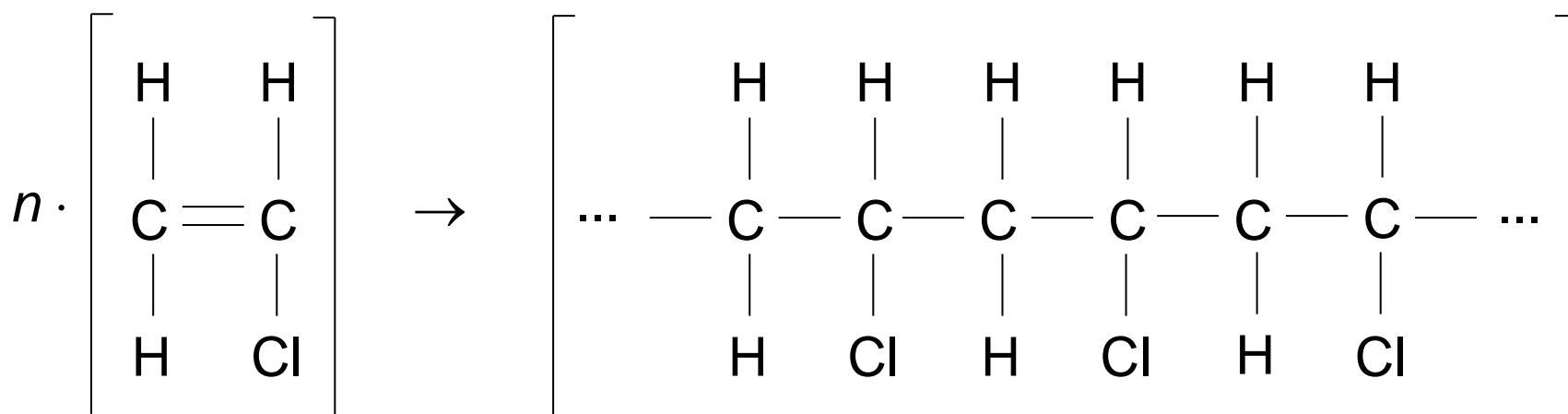
Ma lepsze własności mechaniczne od polietylenu, jego gęstość wynosi 0,90...0,91 g·cm⁻³, a dopuszczalna temperatura pracy ciągłej dochodzi do 140°C.

Polistyren (PS)

Jest twardy, ma dużą wytrzymałość mechaniczną oraz niską temperaturę dopuszczalną pracy ciągłej (75°C). Jest stosowany jako dielektryk w kondensatorach pracujących przy w.cz.

Policzterofluoroetylen (PTFE) teflon

Zawiera krystality 45...80%, ma dużą odporność cieplną i chemiczną. Jest niepalny, może pracować w zakresie od -200°C do $+250^{\circ}\text{C}$. Jest drogi i trudny w produkcji.

Polichlorek winylu (PVC)

Posiada mierne własności elektryczne, jest odporny na działanie czynników chemicznych. Charakteryzuje się stosunkowo niską temperaturą mięknięcia (85°C), jest tani i łatwy w produkcji.

Duroplasty

To syntetyczne polimery organiczne uzyskiwane w procesie polikondensacji przez formowanie i utwardzanie.

Utwardzanie, przez podgrzanie lub zastosowanie utwardzaczy, jest procesem nieodwracalnym. Element izolacyjny jest w całej objętości usieciowany przez wiązania międzyatomowe.

Podstawowe własności duroplastów:

- $\rho_V = 10^7 \dots 10^{14} \Omega\text{m}$,
- $\text{tg}\delta = 0,001 \dots 0,01$,
- $\varepsilon_r = 3,5 \dots 10$,
- $E_p = 120 \dots 350 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$,

Zastosowanie: żywice lane, tłoczywa, lakiery, kleje.

Tworzywa fenolowo-formaldehydowe

- produkty polikondensacji formaldehydu z fenolami,
- tłoczywa z różnymi wypełniaczami (bakelity, tekstolity),
- bardzo dobre własności mechaniczne,
- mierne własności elektryczne.

Tworzywa melaminowo-formaldehydowe

- produkty polikondensacji formaldehydu z melaminą,
- stosuje się z napełniaczami nieorganicznymi,
- odporne na wyładowania elektryczne (komory łukowe).

Tworzywa epoksydowe

- makrocząsteczki liniowe - sieciowane w procesie utwardzania,
- dobra przyczepność do materiałów nieorganicznych,
- wytrzymałe laminaty na bazie tkaniny szklanej.

Tworzywa silikonowe

- łańcuchy makrocząsteczek - na przemian atomy krzemu i tlenu,
- boczne obiekty: grupy metylowe (CH_3) lub fenyłowe (C_6H_5),
- mogą być kwalifikowane jako elastomery lub duroplasty, zależnie od stopnia usieciowania i zawartości wypełniaczy,
- są hydrofobowe, mają mierne własności elektryczne i mechaniczne,
- temperatura pracy do $180\text{...}250^\circ\text{C}$, przy zastosowaniu wypełniaczy ceramicznych do $300\text{...}400^\circ\text{C}$