

## 4.1 Polymeerejä käytössämme

Yhdistä polymeeri ja käyttökohde. Käytä kukin vaihtoehto vain kerran.

Polymeerit

1 PE

2 polyesteri

3 PET

4 PP

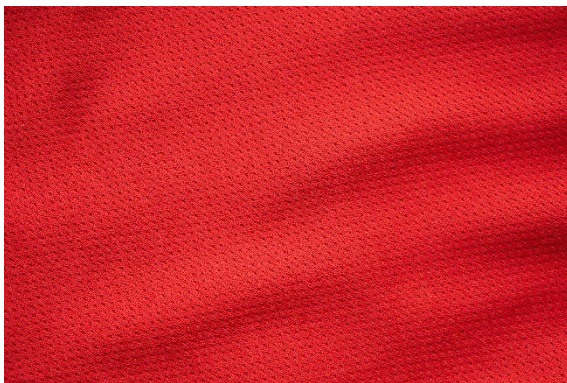
Käyttökohteet



A



B



C



D

**Ratkaisu:**

1 - B

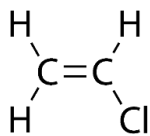
2 - C

3 - A

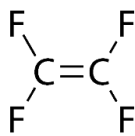
4 - D

## 4.2 Synteettisiä polymeerejä

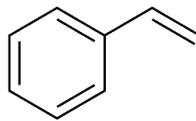
Ohessa on esitetty kolme polymeerien valmistuksessa käytettävää monomeeriä. Piirrä niistä muodostuvat polymeerit. Mistä polymeroitumisreaktityypistä on kyse?



1



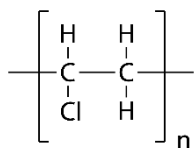
2



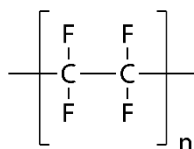
3

**Ratkaisu:**

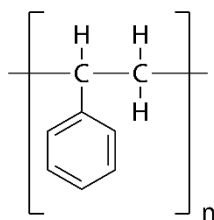
1



2



3



Kyse on additiopolymeroitumisreaktioista.

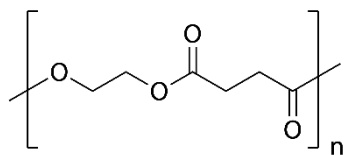
### 4.3 Tunnista polyesterin lähtöaineet

Valitse seuraavista yhdistepareista ne, joista voidaan valmistaa polyesteriä. Piirrä näistä muodostuvan polymeerin rakenne.

- a) Heksaanidihappo ja 1,4-diaminobutaani.
- b) Heksaanidihappo ja etanoli.
- c) Butaanidihappo ja etaani-1,2-dioli.
- d) Butaani-1,4-dioli ja etaani-1,2-dioli.

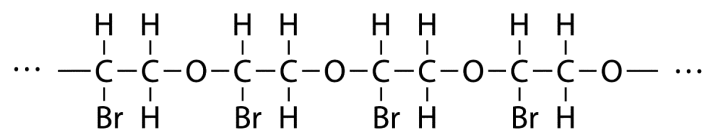
**Ratkaisu:**

c)



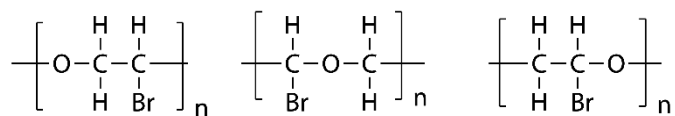
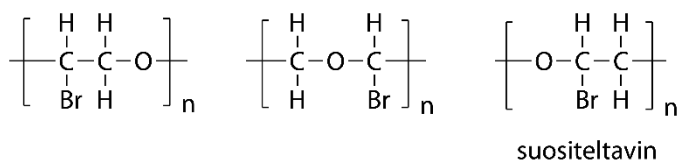
## 4.4 Polymeerin piirtäminen

Millä eri tavoin oheisen polymeerin rakenne voidaan esittää käyttäen tiivistä esitystapaa, jossa on piirretty vain yksi toistuva rakenneyksikkö?



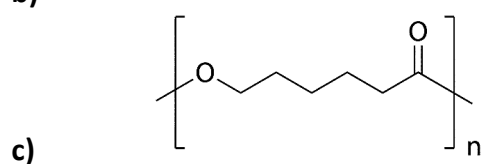
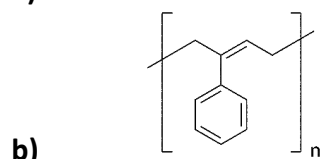
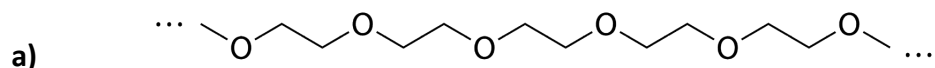
### Ratkaisu:

Kaikki alla olevat ovat mahdollisia. Suositellussa esitystavassa molemmat heteroatomit, happi- ja bromiatomi, ovat ensimmäisessä mahdollisessa ketjun paikassa.



## 4.5 Polymeerien luokittelu

Kumpaan polymeeriluokkaan, additio- vai kondensaatiopolymeereihin, seuraavat polymeerit kuuluvat?



**Ratkaisu:**

a) kondensaatiopolymeeri

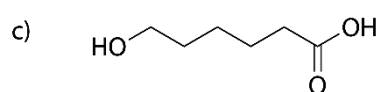
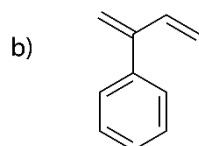
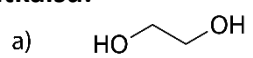
b) additiopolymeeri

c) kondensaatiopolymeeri

## 4.6 Monomeerin rakenteen tunnistaminen

Esitä rakennekaavalla, millaisista monomeereistä tehtävässä 4.5 esitettyjä polymeerejä voidaan valmistaa.

**Ratkaisu:**

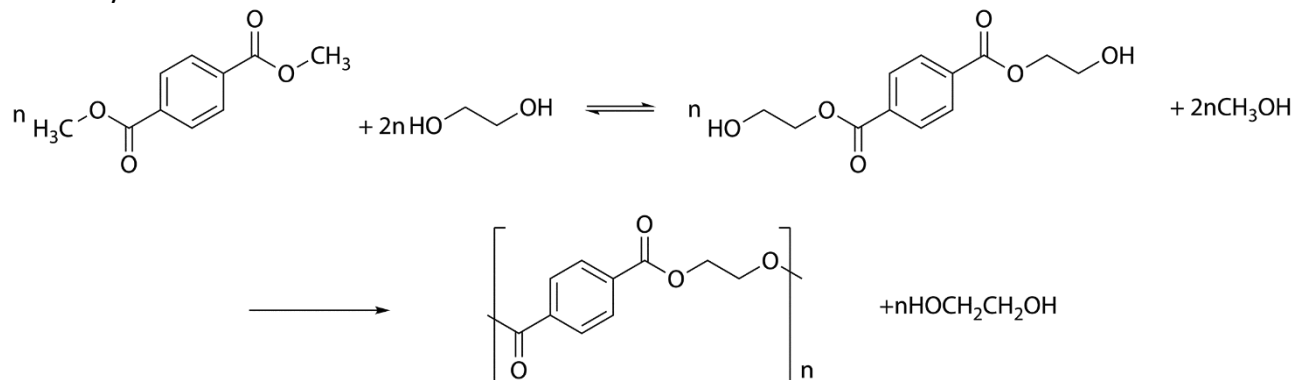




## 4.8 PET:n valmistus vaihtoesteröintireaktiolla

Polyetyleenitereftalaatin (PET) valmistamiseksi hyödynnetään usein niin sanottua vaihtoesteröintireaktiota. Tämän reaktion ensimmäisessä vaiheessa dimetyylitereftalaatin annetaan reagoida glykolin kanssa, jolloin vapautuu metanolia. Toisessa vaiheessa tapahtuu polymeerimolekyylin muodostuminen ja ylimäärä glykolia poistuu.

Reaktioyhtälöt ovat:



- Mihin yhdisteryhmiin reaktion ensimmäisessä vaiheessa tarvittavat lähtöaineet voidaan luokitella?
- Mikä tilavuus (l) glykolia vähintään tarvitaan, jos lähtöaineena käytetään 100,0 kg dimetyylitereftalaattia?
- Mikä tilavuus (l) metanolia reaktiossa poistuu?

**Ratkaisu:**

**a)** Dimetyylitereftalaatti: aromaattinen yhdiste, diesteri (kaksiarvoinen esteri).

Glykoli: dioli (moniarvoinen alkoholi, kaksiarvoinen alkoholi).

**b)**  $m(\text{dimetyylitereftalaatti}) = 100,0 \text{ kg} = 100\,000 \text{ g}$

Dimetyylitereftalaatin molekyylikaava on  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4 \Rightarrow$

$M(\text{dimetyylitereftalaatti}) = 194,180 \text{ g/mol}$

Glykolin molekyylikaava on  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2 \Rightarrow$

$M(\text{glykoli}) = 62,068 \text{ g/mol}$

$\rho(\text{glykoli}) = 1,11 \text{ kg/dm}^3$  (MAOL-taulukoista)

$V(\text{glykoli}) = ?$

Lasketaan dimetyylitereftalaatin ainemäärä.

$$n(\text{dimetyylitereftalaatti}) = \frac{m(\text{dimetyylitereftalaatti})}{M(\text{dimetyylitereftalaatti})} = \frac{100\,000 \text{ g}}{194,180 \text{ g/mol}} = 514,986 \text{ mol}$$

Reaktioyhtälön stoikiometrisistä kertoimista nähdään, että glykolia tarvitaan kaksinkertainen ainemäärä dimetyylitereftalaatin ainemäärän verrattuna  $\Rightarrow$

$$n(\text{glykoli}) = 2n(\text{dimetyylitereftalaatti}) = 2 \cdot 514,986 \text{ mol} = 1\,029,97 \text{ mol}$$

Ratkaistaan glykolin massa.

$$m(\text{glykoli}) = n(\text{glykoli}) \cdot M(\text{glykoli}) = 1\,029,97 \text{ mol} \cdot 62,068 \text{ g/mol} = 63\,928,2 \text{ g} = 63,9282 \text{ kg}$$

Kysytty glykolin tilavuus saadaan ratkaistua tiheyden suureyhtälöstä.

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ josta } V = \frac{m}{\rho}.$$

$$V(\text{glykoli}) = \frac{63,9282 \text{ kg}}{1,11 \text{ kg/l}} = 57,593 \text{ l} \approx 57,6 \text{ l}$$

c)  $n(\text{glykoli}) = 1\,029,97$  (kohdan b) välituloksen tarkkuudella)

$M(\text{metanoli}) = 32,042 \text{ g/mol}$

$\rho(\text{metanoli}) = 0,79 \text{ kg/dm}^3$  (MAOL-taulukoista)

Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella

metanolia poistuu sama ainemäärä kuin glykolia tarvitaan =>

$n(\text{metanoli}) = n(\text{glykoli}) = 1\,029,97 \text{ mol}$ .

Lasketaan poistuvan metanolin massa.

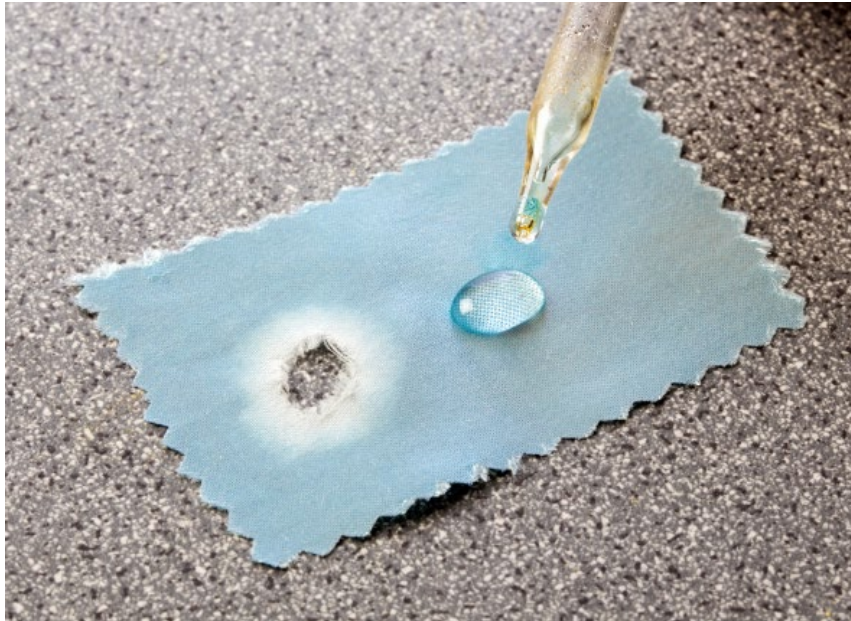
$$m(\text{metanoli}) = n(\text{metanoli}) \cdot M(\text{metanoli}) = 1\,029,97 \text{ mol} \cdot 32,042 \text{ g/mol} = 33\,002,3 \text{ g} = 33,0023 \text{ kg}$$

Poistuvan metanolin tilavuus saadaan ratkaistua tiheyden suureyhtälöstä

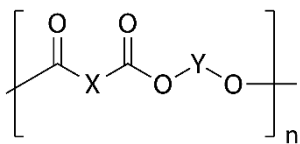
$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ josta } V = \frac{m}{\rho}.$$

$$V(\text{metanoli}) = \frac{33,0023 \text{ kg}}{0,79 \text{ kg/l}} = 41,78 \text{ l} \approx 42 \text{ l}$$

## 4.9 Mitä tapahtuu polyesterin rakenteelle?



Kuvassa on pala kankaasta, jonka tiedetään olevan polyesteriä. Kankaan sisältämää polyesteriä voidaan mallintaa oheisella rakennekaavalla:



polyesteri

Kankaan päälle on tiputettu väkevää natriumhydroksidiliuosta.

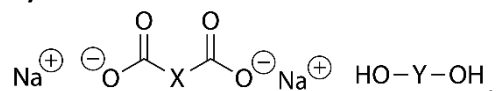
**a)** Selitä, miksi kankaaseen tulee reikä.

**b)** Esitä niiden reaktiotuotteiden rakennekaavat, joita muodostuu, kun kangasta käsitellään väkevällä natriumhydroksidiliuoksella.

**Ratkaisu:**

**a)** Kankaaseen tulee reikä, sillä natriumhydroksidiliuoksen vaikutuksesta tapahtuu polyesterin (emäksinen) hydrolyysi. Tässä reaktiossa polymeerin rakenneyksiköiden välisiä kovalenttisia esterisidoksia katkeaa, minkä seurauksena polymeerirakenne hajoaa.

**b)** Reaktiotuotteiden rakennekaavat ovat:



## 4.11 Muovi – pahis ja hyvis

Mieti mitä hyviä ja huonoja puolia muoveilla ja niiden käytöllä on. Kokoa näistä listaus ja vertaa sitä muiden opiskelijoiden listauksiin.

### Ratkaisu:

Hyviä puolia:

- Muovit ovat halpoja materiaaleja.
- Ne ovat kevyitä materiaaleja, mikä vähentää kuljetuksessa syntyviä päästöjä.
- Ne ovat helposti muokattavia ja työstettäviä materiaaleja erilaisiin käyttökohteisiin.
- Niistä voidaan valmistaa hygieenisia kertakäyttötuotteita mm. sairaalakäyttöön (esim. ruiskut, suojavarusteet, pussit) ja elintarviketeollisuuteen (eivät vaikuta ruoan makuun eivätkä reagoi helposti ruoan kanssa).
- Ne ovat oikein lajiteltuina ja kerättyinä kierrätettäviä.
- Muovijätteistä saadaan energiaa.
- Ne soveltuvat monenlaisiin käyttökohteisiin, ja eri muoveilla voi olla hyvinkin erilaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi teflonia (PTFE) käytetään mm. paistinpannuissa, ja polyamidikuituja (PA) käytetään palomiesten puvuissa. Hävittäjien moottoreissa käytetään lujitettua bismaleimidia (BMI), ja moottorien osissa käytetään polyeetterieetteriketonia (PEEK). PEEK kestää hyvin jatkuvaa mekaanista rasitusta ja kemiallisia aineita. Sen lämmönkesto on erittäin korkea. PEEK on myös bioyhteensopiva, joten siitä voidaan valmistaa ihmiskehoon sopivia proteeseja, jopa kehon sisälle sijoitettavia.

Huonoja puolia:

- Ne hajoavat hitaasti luonnossa.
- Mikromuovit ovat vakava ympäristöongelma.
- Ne kuluttavat usein uusiutumattomia luonnonvaroja (fossiilisia raaka-aineita).
- Sekamuovit voivat olla vaikeasti kierrätettäviä (eri muovilaatuja ei saada erotettua muovijätteestä).
- Muovijätettä kulkeutuu maastoon ihmisten toimesta.
- Pieniä määriä muovia tai muovien lisäaineita voi liueta elintarvikkeisiin tai veteen muovisesta pakkausmateriaalista tai muovituotteesta varsinkin lämmitettäessä.

## 4.12 Muovien tunnistaminen

Aineisto I: Muovien ominaisuuksia (taulukko)

Aineisto II: Muovien tiheyden tutkiminen (kuvat)

Aineisto III: Havainnot muovien palamisreaktiosta (kuva)

Kolmea eri muovinäytettä (A–C) tutkittiin seuraavilla kokeilla:

Koe 1: Muovia taivuteltiin, venyteltiin ja raaputeltiin terävällä veitsellä.

Koe 2: Muoviin tehtiin merkintä kuulakärkikynällä ja jälki yritettiin poistaa sormella pyyhkimällä.

Koe 3: Pieni pala muovia laitettiin vettä sisältävään astiaan.

Koe 4: Pieni pala muovia poltettiin upokkaassa.

Kokeista saatiin seuraavat tulokset:

Koe 1.

Muovinäyte A: Muovi oli jäykkää ja sitkeää.

Muovinäyte B: Muovi oli pehmeää ja taipuisaa.

Muovinäyte C: Muovi oli melko kovaa.

Koe 2.

Muovinäyte A: Jälki ei pyyhkiytynyt pois.

Muovinäyte B: Jälki pyyhkiytyi pois helposti.

Muovinäyte C: Jälki ei pyyhkiytynyt pois.

Koe 3.

Katso aineiston II kuva.

Koe 4.

Katso aineiston III kuva.

Tunnista muovit A–C aineistojen I–III sekä kokeiden 1–4 tulosten avulla.

### **Ratkaisu:**

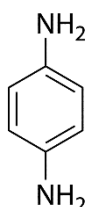
A – PET

B – PE–LD

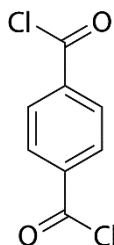
C – PVC

## 4.13 Luodinkestävä Kevlar®

Kevlar® on erityisen vahvan ja kestävä polymeerin tuotemerkki. Sitä käytetään esimerkiksi luodinkestävissä liiveissä ja moottoripyöräilyyn sopivissa ajohaalareissa. Kevlaria® valmistetaan polymeroimalla bentseeni-1,4-diamiinia ja tereftaloyylidikloridia siten, että niistä muodostuu toistuva rakenneyksikkö. Reaktiossa vapautuu vetykloridia.



bentseeni-1,4-diamiini



tereftaloyylidikloridi

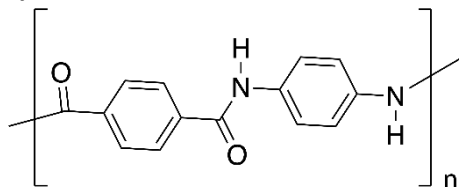
a) Piirrä Kevlarin® rakenne.

b) Mikä funktionaalinen ryhmä muodostuu, kun monomeerit liittyvät yhteen?

c) Kevlarin® vahva rakenne selittyy paitsi syntyvillä kovalenttisilla sidoksilla myös pitkien ja kuitumaisten polymeeriketjujen välille muodostuvilla vetysidoksilla. Esimerkiksi Kevlarista® valmistetut köydet ovat 20 kertaa vahvempia kuin teräs. Selitä, miksi ja mihin kohtiin vetysidoksia voi muodostua.

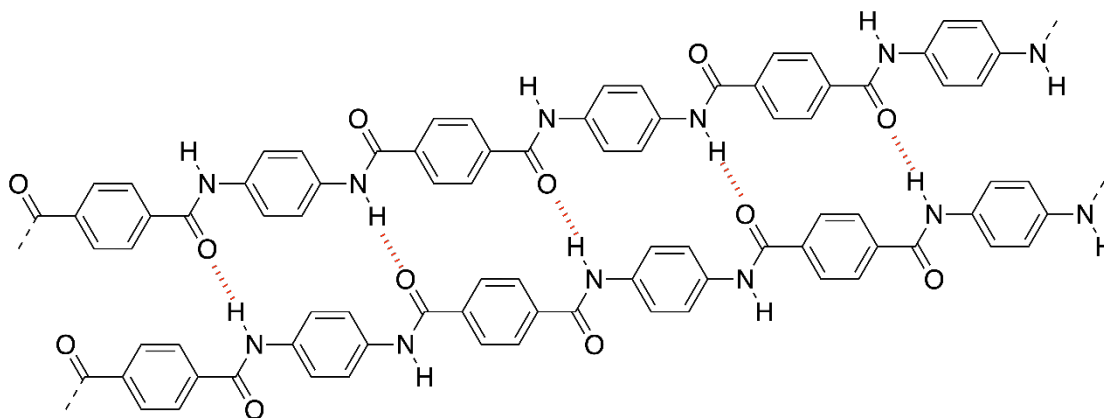
**Ratkaisu:**

a) Kevlarin® rakenne:



b) Muodostuu amidiryhmä.

c) Vetysidoksia voi muodostua vierekkäisten polymeerimolekyylien amidiryhmien välille kuvan osoittamalla tavalla, sillä amidiryhmän typpiin on liittynyt vetyatomi (positiivinen osittais-varaus), joka voi muodostaa vetysidoksen toisen amidiryhmän happiatomiin (negatiivinen osittais-varaus). Vetysidokset on merkitty punaisilla katkoviivoilla.



## 4.14 Luonnonkumin rakenne ja ominaisuuksia

Luonnonkumi on polymeeri, joka muodostuu isopreenimonomeereistä. Isopreenin systemaattinen nimi on 2-metyylibuta-1,3-dieeni. Polymeroituminen tapahtuu siten, että isopreenit liittyvät yhteen polyadditioreaktiolla monomeerien päistä, ja samalla keskimmäisten hiiliatomien välille muodostuu kaksoissidos, jolla on *cis*-konfiguraatio.

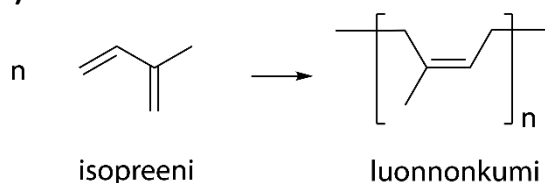
a) Piirrä isopreenin ja luonnonkumin rakennekaavat.

b) Kumin vulkanoinnissa yhtä isopreeniyksikköä kohti liitetään aina neljä rikkiatomia. Laske, kuinka monta tonnia rikkiä  $S_8$  tarvitaan, kun 10 tonnia isopreeniä vulkanoidaan siten, että muodostuvassa kumissa 5,0 % toistuvista rakenneyksiköistä sitoo rikkiä.

c) Pohdi, miten kumin ominaisuudet muuttuvat, jos rikin määrää lisätään.

**Ratkaisu:**

a)



b) Isopreenimonomeerin molekyylikaava on  $C_5H_8$ .

$$m(C_5H_8) = 10 \text{ t} = 10\,000 \text{ kg} = 10 \cdot 10^6 \text{ g}$$

$$M(C_5H_8) = 68,114 \text{ g/mol}$$

$$M(S_8) = 256,56 \text{ g/mol}$$

$$m(S_8) = ?$$

Ratkaistaan isopreenimonomeerien ainemäärä.

$$n(\text{isopreenimonomeerit}) = \frac{m(\text{isopreenimonomeerit})}{M(\text{isopreenimonomeerit})} = \frac{10 \cdot 10^6 \text{ g}}{68,114 \text{ g/mol}} = 1,468 \cdot 10^5 \text{ mol}$$

Koska 5,0 % isopreeniyksiköistä sitoo rikkiä ja kukin yksikkö sitoo neljä rikkiatomia, on tarvittava rikkiatomien ainemäärä:

$$n(S) = 0,050 \cdot 4 \cdot 1,468 \cdot 10^5 \text{ mol} = 29\,360 \text{ mol}.$$

Koska yksi rikkimolekyyli  $S_8$  sisältää kahdeksan rikkiatomia, rikkimolekyylien ainemäärä on:

$$n(S_8) = \frac{1}{8} \cdot n(S) = \frac{1}{8} \cdot 29\,360 \text{ mol} = 3\,670 \text{ mol}.$$

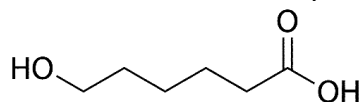
Lasketaan kysytty rikin massa:

$$m(S_8) = n(S_8) \cdot M(S_8) = 3\,670 \text{ mol} \cdot 256,56 \text{ g/mol} = 941\,600 \text{ g} \approx 0,94 \text{ t}$$

c) Koska rikkisillat jäykistävät kumin rakennetta, tulee kumista kovempaa ja jäykempää, jos rikin määrää lisätään.

## 4.15 Laktonin polymeroituminen

Ohessa on annettu 6-hydroksiheksaanihapon rakennekaava.

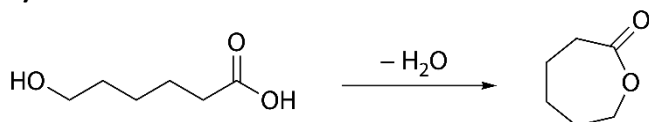


6-hydroksiheksaanihappo

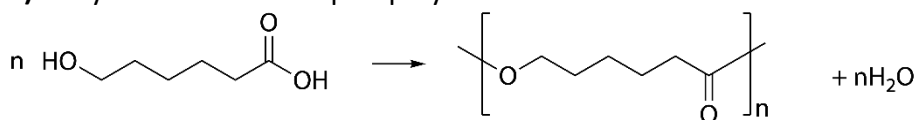
- a) 6-hydroksiheksaanihappo voi muodostaa molekyyllinsisäisen esterin eli laktonin. Kirjoita tämän reaktion reaktioyhtälö.
- b) Kirjoita 6-hydroksiheksaanihapon polymeroitumisreaktion reaktioyhtälö. Kirjoita myös 6-hydroksiheksaanihaposta muodostuneen laktonin polymeroitumisreaktion reaktioyhtälö.
- c) Missä a)- ja b)-kohtien reaktioissa vapautuu vettä? Mitä etua laktonin käyttö tarjoaa polymeroitumisreaktiolle?

**Ratkaisu:**

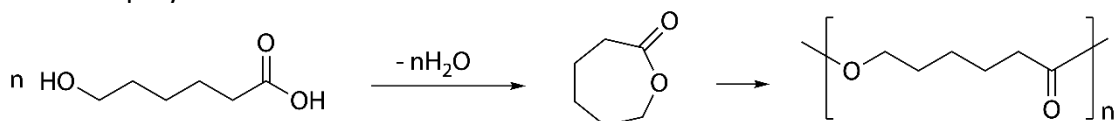
a)



b) 6-hydroksiheksaanihapon polymeroituminen:



Laktonin polymeroituminen:



c) Jos polymeeri muodostuu suoraan 6-hydroksiheksaanihaposta, vesi poistuu itse poly-meroitumisreaktiossa. Jos polymeeri muodostetaan laktonista, vesi poistuu ennen varsinaista polymeroitumisreaktiota jo laktonin muodostumisvaiheessa. Silloin muodostuvaa vettä ei tarvitse poistaa muodostuneesta polymeeristä. Tämä helpottaa polymeerin valmistusta.