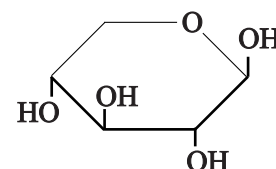


Bio-ethanol uit stro

Eerste-generatie bio-ethanol werd geproduceerd uit suiker, afkomstig van eetbare gewassen. Tweede-generatie bio-ethanol wordt geproduceerd uit oneetbare, houtachtige gewassen zoals stro. De voornaamste bestanddelen van stro zijn cellulose, hemicellulose en lignine.

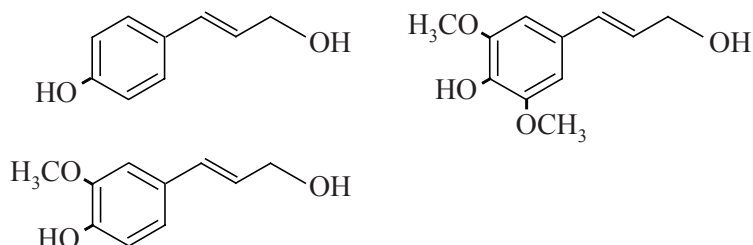
Cellulose en hemicellulose zijn ketenpolymeren, opgebouwd uit monosachariden. Bij cellulose is dit uitsluitend het monosacharide glucose, een zogenoemd C6-sacharide, omdat er zes koolstofatomen in een glucose-molecuul zitten. Hemicellulose is daarentegen opgebouwd uit zowel C5- als C6-monosachariden. De monosachariden zijn op eenzelfde manier aan elkaar gekoppeld als bij cellulose. Het belangrijkste monosacharide in hemicellulose is xylose.



De schematische structuurformule van xylose is hiernaast afgebeeld.

- 3p **20** Teken de structuurformule van een fragment uit het midden van een (onvertakte) hemicellulose-keten. Het fragment moet uit twee xylose-eenheden zijn opgebouwd. Gebruik een vergelijkbare notatie zoals hierboven voor de structuurformule van xylose is gebruikt.

Lignine is een netwerkpolymeer. Het wordt in planten gevormd door een polymerisatie van verschillende monolignolen. De drie meest voorkomende monolignolen zijn hieronder weergegeven.



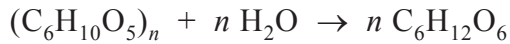
De biosynthese van monolignolen gaat uit van twee aminozuren.

- 2p **21** Geef de namen van deze twee aminozuren die door planten gebruikt worden om monolignolen te produceren.

In een proeffabriek voor de tweede-generatie bio-ethanol wordt cellulose afkomstig van stro met behulp van enzymen afgebroken tot monosachariden. Hemicellulose wordt afgebroken tot sachariden met kortere ketens en lignine wordt in dit proces niet afgebroken.

- 1p **22** Geef een mogelijke verklaring voor het feit dat de enzymen die cellulose en hemicellulose afbreken, lignine niet kunnen afbreken.

De afbraak van cellulose kan worden weergegeven met de volgende reactievergelijking:



Vervolgens wordt het ontstane glucose door bakkersgist omgezet tot ethanol:



De proeffabriek verwerkt op deze manier jaarlijks 30.000 ton stro tot 5,4 miljoen liter ethanol.

4p **23** Bereken het rendement voor de omzetting van cellulose tot ethanol.

Ga ervan uit dat:

- de ethanol-opbrengst uit hemicellulose te verwaarlozen is;
- het gebruikte stro 35,0 massa% cellulose bevat;
- de dichtheid van ethanol $0,80 \text{ kg L}^{-1}$ bedraagt;
- 1 ton $1 \cdot 10^6 \text{ g}$ is.

Een hoog rendement in de productie van tweede-generatie bio-ethanol wordt onder meer bereikt door het stro voor te behandelen met stoom, waardoor cellulose beter enzymatisch afbreekbaar wordt.

Het stro wordt hierbij in een reactor (reactor 1) geleid. Tevens wordt stoom reactor 1 ingeleid. Hierdoor wordt het hemicellulose omgezet tot sachariden met kortere ketens en andere afbraakproducten, maar wordt cellulose nauwelijks afgebroken.

In reactor 1 ontstaat afvalwater, waarin mineralen uit het stro en de afbraakproducten van hemicellulose zijn opgelost.

Het afvalwater wordt de reactor uitgeleid en deels ingedampd in ruimte A.

De stroperige vloeistof die ontstaat bevat voornamelijk korte ketens van C5-monosachariden en wordt C5-melasse genoemd. Deze C5-melasse kan worden gebruikt in veevoer.

2p **24** Geef de namen van de twee scheidingsmethoden die in reactor 1 worden toegepast.

Het voorbehandelde stro afkomstig uit reactor 1 bevat geen hemicellulose meer.

Het mengsel wordt naar reactor 2 geleid. In reactor 2 vindt met behulp van enzymen gedeeltelijke hydrolyse van cellulose tot glucose en andere sachariden met korte ketens plaats. Glucose remt de werking van deze enzymen.

Het in reactor 2 ontstane mengsel, vezelpulp genaamd, wordt naar reactor 3 geleid, waar er gist aan wordt toegevoegd. In deze reactor gaat de afbraak van cellulose en andere sachariden door de enzymen nog steeds door. De CO_2 die ontstaat bij het gisten wordt direct afgevangen en opgeslagen.

Het tegelijkertijd plaatsvinden van de enzymatische afbraak van cellulose en het gisten is voordelig voor de snelheid waarmee ethanol gevormd wordt.

3p **25** Leg uit waarom het voordelig is voor de snelheid waarmee ethanol gevormd wordt als de afbraak van cellulose en het gisten tegelijkertijd plaatsvinden.

Het uit reactor 3 afkomstige mengsel, vezelbier genaamd, wordt in een destillatietoren geleid waar ethanol wordt afgescheiden. Het residu van de destillatie, vezelafval genaamd, wordt gescheiden in ruimte B in een vaste en een vloeibare fractie. De vaste fractie bevat voornamelijk lignine. Dit wordt in ruimte C gedroogd en tot korrels samengeperst. De vloeibare fractie wordt naar reactor 2 geleid. Ook al het in het proces vrijgekomen water wordt teruggeleid naar reactor 2.

- 4p **26** Op de uitwerkbijlage is het onvolledige blokschema van de ethanolfabriek weergegeven. Maak het blokschema af door blokken en pijlen met stofstromen toe te voegen.

Noteer hierin:

- de destillatietoren met een blok;
- stofnamen bij de pijlen/stofstromen.

Stofstromen voor enzymen en gist hoeven niet te worden getekend.

