

Voorblad tentamen

Energie, Recycling en Veiligheid (MST 4052ENRV6)

Maandag 17 Januari 2020 van 9.00 – 12.00 uur

Tentamen opgesteld en gecontroleerd door: Prof. Dr. J. Geerlings, Prof. Dr. S. Picken

- **Het tentamen ER bestaat uit 4 opgaven. Twee opgaven over energie, twee over recycling (3 EC)**
 - **Vermeld duidelijk op ieder vel: naam en studienummer.**
 - **Maak dit tentamen in blauwe of zwarte inkt. Geen potlood!**
 - Een eenvoudige **rekenmachine** is toegestaan (geen mobiele telefoon als rekenmachine gebruiken).
 - **Open boek:** Boeken/leesstof Energie & uitgeprinte slides met summier aantekeningen 2x A4 zijn toegestaan. **Slides op laptop toegestaan**, laptop moet **off-line** zijn.
 - Het cijfer wordt lineair bepaald aan de hand van het behaalde aantal punten met als laagste cijfer een 1 (indien u iets inlevert), $\text{cijfer} = 1 + 9 \times (\text{punten} / \text{maxpunten})$. Cijfers beneden 5.49(9) zijn onvoldoende en worden een 5 of lager, cijfers 5.50 of hoger, worden een 6 of hoger, afgerond op een halve punt nauwkeurig. Het cijfer 5.5 wordt dus niet toegekend.
 - **Maak de opgaven 1&2, 3&4 op aparte bladen voor het handig nakijken, vermeld op ieder vel apart uw naam en studienummer!**
 - **Het tentamen wordt on-campus afgenomen, lever na afloop uw handgeschreven tentamenbladen in en de tentamen opgaven**
 - **U mag geen online informatie raadplegen, u mag niet communiceren met anderen (online, email, chat etc.)**
-

Vraag 1 (10 punten)

Vraag 2 (10 punten)

Vraag 3 (10 punten)

Vraag 4 (10 punten)

Einde

Opgave 1 – Energie: ‘Het wereldwijde energiesysteem’

(2, 2, 3, 3 punten, totaal 10 punten)

De mensheid gebruikte in 2020 bijna 600 EJ aan primaire energie om in al haar behoeften te kunnen voorzien. Zie de figuur hieronder.

Op deze vraag zijn meerdere goede antwoorden mogelijk. Het gaat vooral ook om de gegeven argumentatie

a) Waarom is het wereld energieverbruik gestegen tussen 1995 en 2020?

Hiervoor zijn twee redenen

- de gestegen wereldbevolking
- de economische groei, die delen van de wereld hebben doorgemaakt. Denk b.v. aan China

b) Geef een beargumenteerde schatting van het wereld energieverbruik in 2030.

Een redelijke schatting is 550-700 EJ. Argumenten zijn de verdere groei en gemiddelde economische ontwikkeling van de wereldbevolking. Dit leidt tot een hoger energieverbruik in vergelijking met nu. Daarnaast zou men een overall verhoogde energie efficiëntie kunnen aanvoeren, wat op zichzelf leidt tot een lager verbruik.

Neem aan dat vanaf nu de wereld het ‘Net Zero Emissions Scenario by 2050 (NZE)’ gaat volgen. Dit zou betekenen dat de ‘doelen van Parijs’ gehaald kunnen worden.

c) Schat hoeveel CO₂ er in het jaar 2030 geëmitteerd zal worden. Hoeveel CO₂-vrije energie zal de energiemix in 2030 ongeveer bevatten?

Aflezen uit de relevante figuur levert ongeveer 20 Gt aan CO₂ emissies in 2030.

De (aan energie gerelateerde) emissies zijn vandaag de dag ongeveer 32 Gt.

Als de compositie van de fossiele energie mix niet veel verandert, dan volgt dat in 2030 ongeveer $(20/32) * 570 = 350$ EJ

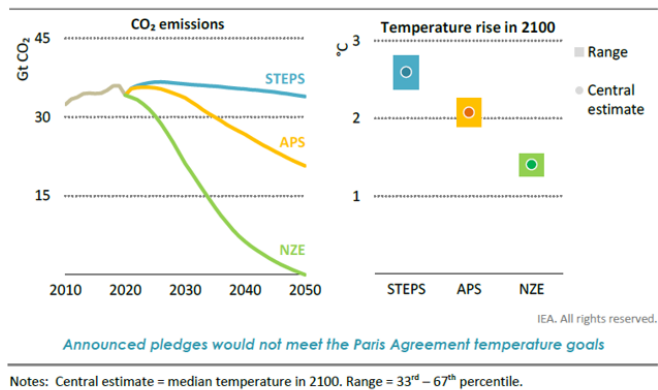
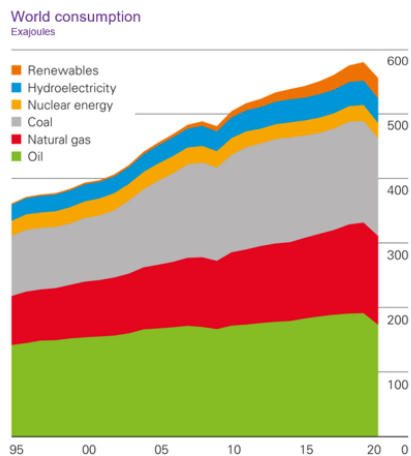
Als we bij onderdeel b) 650 EJ geschat hebben dan volgt dat in 2030 de energiemix van ongeveer $650 - 350 = 300$ EJ aan CO₂-vrije energie moet bestaan. Vergelijk dit met de som van waterkracht, kernenergie en ‘renewable’ (hernieuwbare) energie in de figuur, die op dit moment ruwweg 100 EJ bedraagt.

d) Hoeveel zal de bijdrage van CO₂-vrije energie op jaarlijkse basis moeten groeien om de onder c) berekende bijdrage aan het totaal in 2030 te kunnen halen? Beargumenteer hoe deze bijdrage van CO₂-vrije energie in 2030 opgebouwd is i.e. welke energiebronnen spelen een rol en hoe groot is hun bijdrage ongeveer?

De groei van ‘CO₂-vrije energie’ zal ruwweg $25 (=200/8)$ EJ/jaar moeten bedragen.

Op de laatste vraag zijn weer een aantal antwoorden mogelijk. Waterkracht, kernenergie en hernieuwbare energie (zon en wind) zullen een belangrijke rol spelen. Het is waarschijnlijk dat het aandeel van zon en wind in de energiemix in 2030 substantieel groter zal zijn dan vandaag.

World primary energy consumption in recent years and the results of IEA energy scenario analyses



Opgave 2 – Energie: ‘Exergie’

(1, 1, 2, 2, 2, 2 punten, totaal 10)

Een thermodynamisch ideale motor betreft een warmtestroom van 10 kJ/s uit een thermisch reservoir met een temperatuur van 200 °C. De motor loost restwarmte bij een temperatuur van 100 °C. Er mag worden aangenomen dat met warmte van 30 °C geen arbeid verricht kan worden. De valversnelling g bedraagt 9.8 m/s².

a) Hoe groot is de exergiestroom behorend bij de warmtestroom van 200 °C?

Exergiestroom = warmtestroom * (473-303)/473 = 10*(473-303)/473 = 3.6 kJ/s = 3.6 kW

b) Hoeveel arbeid verricht de motor per seconde?

De door de motor verrichte arbeid is 10*(473-373)/473 = 2.1 kW

c) Hoe groot is het exergieverlies per seconde in deze motor? Verklaar het antwoord.

Het betreft hier een thermodynamisch ideale motor, die een carnot cyclus doorloopt. Het exergieverlies in de motor is nul. De motor loost restwarmte bij 100 °C, waarvan de exergie 3.6 - 2.1 = 1.5 kW bedraagt. Zie ook het werkcollege.

d) Men wil de motor gebruiken om een massa van 10000 kg over 10 m omhoog te hijsen. Wat is de voor deze operatie minimaal benodigde tijd?

De motor verricht 2100 Joule per seconde aan arbeid. De totale arbeid, die verricht moet worden is $mgh = 10^4 * 9.8 * 10 = 9.8 * 10^5$ J. De minimaal benodigde tijd is dus $9.8 * 10^5 / 2100 = 467$ s

Een reële (niet ideale) motor opereert tussen dezelfde thermisch reservoirs als de ideale motor. De bij 200 °C opgenomen warmtestroom is voor beide motoren identiek. De reële motor loost 9 kJ/s restwarmte.

e) Hoeveel arbeid verricht deze motor per seconde?

De verrichte arbeid volgt uit de eerste hoofdwet. Arbeid = 10 - 9 = 1 kW

f) Hoe groot is het exergieverlies per seconde in de reële motor?

Maak een exergiebalans over de motor op.

Inkomende exergie = 3.6 kW

Uitgaande exergie = 1 + 9*(373-303)/373 = 2.7 kW

In de motor treedt een exergieverlies van 900 Joule per seconde op.

Opgave 3 – Recycling: ‘Laminaat folie’

(2, 2, 2, 2, 2 punten, totaal 10)

Bij centrale plastic afval inleverpunten (PMD – bak; plastic, metaal en drankverpakkingen) en bij het scheiden van gemengd huishoudelijk afval is in eerste instantie sprake van een diversiteit aan kunststoffen. We nemen aan dat het mengsel bestaat uit kunststoffen van plastic sorteercodes 1 tot en met 7 (dus alle veel voorkomende soorten en de rest code 7, zie tabel hieronder). De restcode 7 bestaat voor PMD afval vooral uit laminaatfolie.

Laminaat folie bestaat vaak uit gemetalliseerde PET met aan een zijde LDPE.

- a) Door middel van ventilatie kunnen de foliematerialen er uit geblazen worden, welke polymeertypes (sorteercodes) betreft dat?

De meest voorkomende folies zijn LDPE en PET, tevens de laminaatfolie, HDPE wordt nauwelijks folie van gemaakt. PS en PVC zijn niet voor de hand liggend als folie, incidenteel voorkomend.

De foliematerialen worden klein gemaakt, tot snippers.

- b) Op welke wijze kunnen de diverse soorten kunststof snippers gescheiden worden? Welke (groepen van) kunststoffen zijn lastig uit elkaar te halen?

Op basis van dichtheid (zie tabel), door flotatie, LDPE, HDPE en PP blijven drijven op water, PET zinkt naar beneden. Wellicht kan je met water + alcohol mengsels de LDPE, HDPE en PP ook nog van elkaar scheiden.

- c) Wat voor extra probleem levert laminaatfolie bij de scheiding volgens deze methode (vraag b)?








De dichtheid kan enorm variëren, afhankelijk van de PET/LDPE verhouding, daar is erg lastig op te sturen.

- d) Gesteld dat het wel goed lukt om de laminaatfolie van alle andere types kunststoffen te scheiden. Is deze laminaatfolie te recycleren? Waarom wel/niet? Noem twee redenen.

Nee, recycling naar laminaatfolie is niet uitvoerbaar omdat je de individuele componenten niet of nauwelijks uit elkaar kan halen. Bij vermalen en extruderen zal de LDPE veel eerder smelten dan de PET, dus dat wordt ook niks, inhomogene smelt. De aluminium metallisatie zal opbreken als je het gaat opsmelten dus de functie daarvan gaat verloren.

- e) Wat zijn de technische redenen dat laminaatfolie wordt gebruikt voor bepaalde voedingsmiddelen? Noem twee redenen. Hint: welke voedingsmiddelen betreft dat?

Genoemd tijdens het college, dat gaat over chips, pinda's en andere gebakken producten, koekjes e.d. De oliën en vetten daarin zijn gevoelig voor licht (UV) vetten worden ranzig van smaak. De aluminium metallisatie zorgt voor zeer goede barrière eigenschappen, beter smaakbehoud. Ook deels vanwege het 'luke' of feestelijke uiterlijk, verwachtingspatroon van de klanten. Laminaatfolies zijn erg gemakkelijk voor folieverpakkingen, je kan de LDPE gebruiken als smeltbare laag (hot-melt, heat sealable packaging foil).

Densities g/cm³		
 PET	Polyethylene Terephthalate	1.35 - 1.38
 HDPE	High Density Polyethylene	0.94 - 0.96
 PVC	Polyvinyl Chloride	1.32 - 1.42
 LDPE	Low Density Polyethylene	0.91 - 0.93
 PP	Polypropylene	0.90 - 0.92
 PS	Polystyrene	1.03 - 1.06
	Others, PET/LDPE laminate	0.96 - 1.33

Opgave 4 – Recycling: ‘Gerecyclede PET van constante kwaliteit’ (2, 2, 2, 2, 2 punten, totaal 10)

U bent bij het bedrijf SmartPET verantwoordelijk voor het produceren van constante kwaliteit gerecyclede PET (rPET) granulaat. Het granulaat wordt via extrusie gemaakt van PET afval flakes.

Het PET afval dat binnenkomt is goed gescheiden, nauwelijks verontreinigd en is afkomstig van grote en kleine afvalverwerkingsbedrijven uit het hele land. De PET flakes zijn vooral afkomstig van waterflessen. Toch blijkt de kwaliteit van de PET flakes erg te variëren, terwijl ze op het oog nauwelijks verschillend zijn. Dat uit zich vooral in de smeltviscositeit. Voor uw klanten zijn dergelijke variaties in smeltviscositeit niet acceptabel.

- a) Wat is de reden dat de smeltviscositeit nogal fors varieert?

Gezien de diversiteit van leveranciers, groot en klein, is het redelijk om te verwachten dat de PET flakes verschillende leeftijd hebben (buiten in de zon, wind, regen, of in idealer geval binnen warm en droog). Dat leidt tot verschillende mate van hydrolyse van de PET, afbraak door weer en wind, watergehaltes, dus tot verschillend molecuulgewicht, dat grijpt dramatisch in op de viscositeit vanwege die exponent 3.4..

- b) Waarom is een variërende viscositeit van het rPET product niet acceptabel? Denk zowel aan uw klanten en vanuit SmartPET perspectief.

Klanten zoeken redenen om te reclameren dus dat is voor SmartPET niet goed, lagere prijs, verlies klanten. De klanten hebben ongetwijfeld productieverliezen als er steeds wat anders binnenkomt, steeds opnieuw machines instellen en dergelijke. Tevens kan je dan als klant zelf ook geen producten van constante kwaliteit maken (sterkte, brosheid etc. varieert) dus het levert ook voor hun klanten en eindgebruikers een probleem op.

- c) Wat is de gemakkelijkste methode om tijdens de productie de viscositeit van het rPET product continue te monitoren?

Er wordt geëxtrudeerd voor het maken van granulaat, de extruderdruk is een mooie maat voor de viscositeit (impliciet het molecuulgewicht). Kan evt. kwantitatief gemaakt worden bij vaste temperatuur T en toerental of met een vrij simpel model.

- d) Wat kunt u doen om ervoor te zorgen dat de door SmartPET geproduceerde rPET wel een voorspelbare constante kwaliteit heeft?

Je kan bijvoorbeeld een bepaalde bijmenging doen van virgin PET om de viscositeit naar boven te halen, de hoeveelheid die er bij moet kan je desgewenst uitrekenen of je kan de dosering sturen via de extruder drukmonitor. Als je de constante kwaliteit op een wat lager viscositeitsniveau stelt dan kan je in meer of mindere mate gedegradeerde PET flakes bijmengen tijdens de extrusie, dan hoeft je ook geen virgin PET meer in te kopen.

- e) Uw baas is erg onder de indruk van uw succesvolle methode. Hij vraagt of u verschillende grades rPET kunt leveren, met constante hoge, gemiddelde en lage smeltviscositeit? Wat gaat u doen om dat gemakkelijk uitvoerbaar te maken, zonder extra investeringen?

Het gemakkelijkst is denk ik om 'masterbatches' van hoge en lage viscositeit te maken, als de baas wat anders wil hebben dan kan je hoog en laag visceus rPET granulaat in de gewenste verhouding mengen. In theorie kan dat zonder alles weer op te smelten, gewoon korrels doseren van type hoog en laag bij het afvullen, het granulaat gaat bij de klant ongetwijfeld toch weer door een extruder of iets dergelijks.

Bedenk dat de smeltviscositeit schaalt als:

$$\eta \propto M_w^{3.4}$$