

## **Tentamen Blijvende Energiebronnen (4P510)**

**Datum:** 21 januari 2010  
**Tijd:** 14.00 – 17.00 uur

N.B. Aangezien de vraagstukken van dit tentamen door verschillende docenten worden beoordeeld, dient u elk vraagstuk op een afzonderlijk vel te zetten onder vermelding van:

1. het vraagstuknummer
2. uw naam en voorletters
3. uw identiteitsnummer
4. uw faculteit

Maakt u toch meerdere vraagstukken op één vel papier, dan wordt alleen het eerste vraagstuk beoordeeld, terwijl de andere vraagstukken daarmee komen te vervallen.

Het gebruik van dictaten en aantekeningen is niet toegestaan.  
Het gebruik van eenvoudige rekenmachines is toegestaan.

Veel succes!

---

## **Examination Renewable Energy Sources (4P510)**

**Date:** January 21, 2010  
**Time:** 14.00 – 17.00 hours

Note: Different lectures will correct the answers to the various problems for this examination. Would you be so kind to write down every answer on a different sheet of paper. Please note on every sheet of paper you use the following:

1. the problem number
2. your last name and initials
3. your identity (student) number
4. your department

Should you write down answers to more than one problem on one piece of paper, then the first answer will be corrected and the other answers will be void.

The use of course books and notes is not allowed.  
The use of simple calculators is allowed.

Good luck!

---

### **Vraagstuk 1 Algemene inleiding (11 punten)**

- a) Beschrijf nauwkeurig de werking van het broeikaseffect. Geef daarbij aan waarom het broeikaseffect leidt tot een stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde. Noem de vier belangrijkste broeikasgassen.
- b) Noem drie essentieel verschillende manieren om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het gebruik van fossiele brandstoffen te beperken.
- c) Noem drie voordelen en drie nadelen van het gebruik van kernenergie.
- d) Het groeipercentage van geïnstalleerd PV is hoog, zo'n 30%. Toch zal het hiermee nog lang duren voordat PV een significant aandeel kan krijgen in de opwekking van elektriciteit. Geef aan hoe dit komt.

### **Problem 1 General introduction (11 points)**

- a) Describe the mechanism of the greenhouse effect accurately. Explain the reason why the greenhouse effect leads to an increase in the average temperature on earth. Mention the four most important greenhouse gasses.
- b) Mention three fundamentally different ways to reduce CO<sub>2</sub> emission from fossil fuels.
- c) Mention three advantages and three disadvantages of the use of nuclear energy.
- d) PV has a high growth percentage (30%) of the capacity installed. In spite of this it will still take a long time before PV can count for a significant part of the electricity production. Explain why.

### **Vraagstuk 2 Biomassa (11 punten)**

- a) Bespreek de verschillen tussen 'verbranden', 'vergassen' en 'pyrolyseren' van biomassa.
- b) Geef de redenen waarom het voordelig is biomassa te vergassen in plaats van te verbranden als de biomassa wordt ingezet voor electriciteitsopwekking via een gasturbine in combinatie met een stoomturbine (zogenaamde combined cycle).
- c) Bespreek voordelen van waterstof en elektrische auto's ten opzichte van auto's die rijden op benzine. Geef ook de voordelen van benzine ten opzichte van waterstof en elektriciteit in de transport sector. Bediscussieer welke van de voordelen of nadelen doorslaggevend zal zijn op korte en langere termijn.

- d) Een motor loopt constant gedurende twee uur en produceert 100 kWh. Het rendement van de motor is 25 %. De motor loopt op bio-diesel (36 MJ/liter). Hoeveel liter wordt verbruikt?

**Problem 2 Biomass (11 points)**

- Discuss differences between 'combustion', 'gasification' and 'pyrolysis' of biomass.
- Discuss the reasons why it is more advantageous to gasify biomass instead of combustion of biomass when it is used in a combined cycle (gasturbine and steamturbine) to produce electricity.
- Discuss advantages of using hydrogen in a car or to use electrical cars instead of cars running on petrol. Discuss also advantages of petrol compared to hydrogen and electricity for transport. Discuss which advantages or disadvantages will be dominant on shorter and longer term
- An engine runs constant for two hours and produces 100 kWh. The efficiency of the motor is 25 %. The motor runs on bio diesel (36MJ/liter). How much litre is used?

**Vraagstuk 3 Fotovoltaïsche omzetting (11 punten)**

- Maak een nauwkeurige schets van een kristallijn silicium zonnecel. Definieer de verschillende componenten en hun functie in de zonnecel. Verklaar ook het werkingsprincipe van een kristallijn silicium zonnecel.
- Teken de IV (stroom- spanning) plot voor een zonnecel en definieer  $I_{sc}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{mp}$  en  $V_{oc}$ .
- Definieer de *peak power* en bereken de *peak power* van een fotovoltaïsch paneel gemaakt door 36 cellen (elk met een oppervlakte van  $10 \cdot 10 \text{ cm}^2$  en met een efficiëntie van 12.5%).
- Maak een nauwkeurige tekening van de structuur van een autonoom fotovoltaïsch systeem met batterij en verklaar de functie van de verschillende componenten.

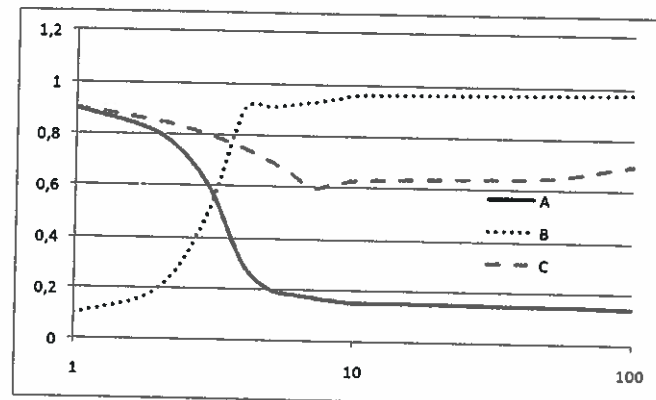
**Problem 3 Photovoltaic conversion (11 points)**

- Make an accurate sketch of a crystalline silicon solar cell. Define the different components and their function in the solar cell. Explain also the working principle of a crystalline silicon solar cell.
- Draw the IV (current- voltage) plot for a solar cell and define  $I_{sc}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{mp}$  en  $V_{oc}$ .

- c) Define the peak power and calculate the peak power of a photovoltaic module made of 36 cells (each one having a surface of  $10 \cdot 10 \text{ cm}^2$  and efficiency of 12.5%).
- d) Make an accurate drawing of the structure of an autonomous photovoltaic system with battery and clarify the function of the different components.

#### Vraagstuk 4 Zonnecollectoren (11 punten)

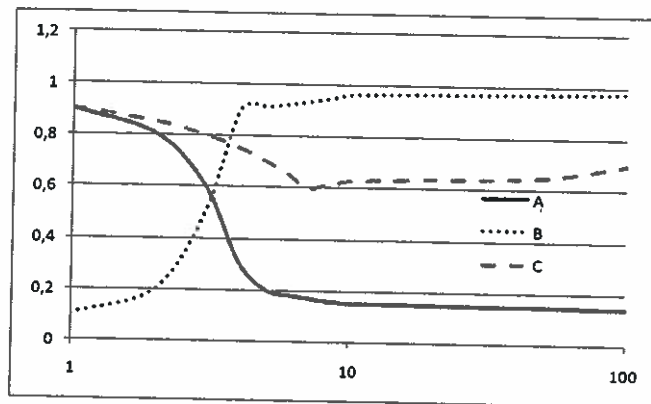
- a) Welke curve A, B of C representeert het best de eigenschappen van een spectraal-selectieve coating op een absorber. Op de horizontale as staat de golflengte in nanometers, op de y-as de absorptie. Verklaar kort waarom.



- b) In een buiten testopstelling staan 3 zonnecollectoren onder dezelfde test omstandigheden. Het zijn een niet-afgedekte vlakke plaat collector, een afgedekte vlakke plaat collector en een vacuümbuis collector. Welke collector geeft de laagste temperaturen, welke de middelste en welke de hoogste? Geef in het kort aan waarom.
- c) Geef, in woorden, de definitie van de stagnatietemperatuur van een collector.

#### Problem 4 Solar collectors (11 points)

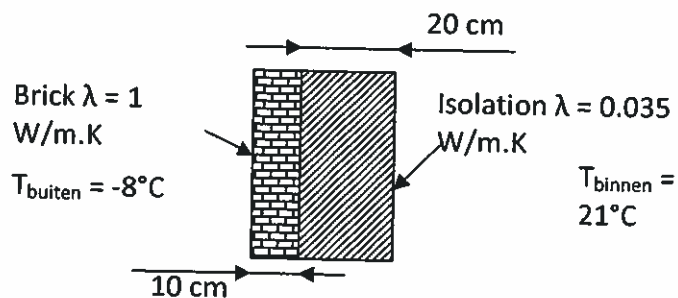
- a) Which curve A, B or C represents best the properties of a spectral selective coating on an absorber. On the horizontal axis the wavelength in nanometers is depicted, on the y-axis the absorption. Briefly explain why.



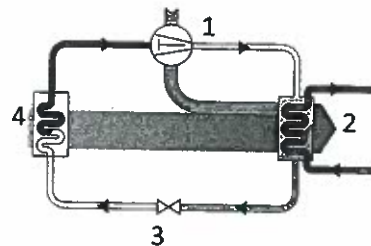
- b) In an outdoor test facility 3 collectors are tested under identical test conditions. The collectors are an uncovered flat plate collector, a covered flat plate collector and a vacuum tube collector. Which collector will yield the lowest, which the middle and which the highest temperatures? Explain this briefly.
- c) In words, give the definition of the stagnation temperature of a collector.

#### Vraagstuk 5 Duurzame energie in de gebouwde omgeving (11 punten)

- a) Bereken de warmtestroom per vierkante meter door onderstaande muur en teken het temperatuurverloop door de muur, inclusief het effect van de grenslagen. De weerstand van de interne grenslaag bedraagt  $0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  en van de externe grenslaag  $0.04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .



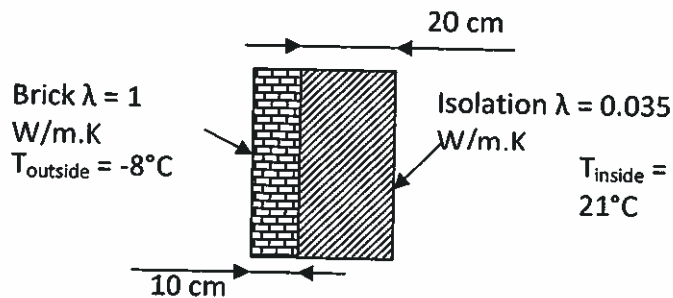
- b) Een elektrische compressiewarmtepomp verpompt warmte van  $10^\circ\text{C}$  naar  $60^\circ\text{C}$ . De compressor heeft 1 kW elektriciteit nodig om de warmtepomp 4 kW warmte te laten leveren. De compressor (1) is een van de 4 hoofdonderdelen van een warmtepomp.
- wat zijn de andere drie hoofdonderdelen?
  - geef de definitie van COP;
  - bereken de ideale (Carnot) COP van deze warmtepomp;



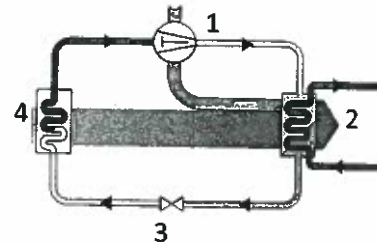
- d) wat is de daadwerkelijke COP van de warmtepomp?
- c) Welke twee functies van ramen zijn de belangrijkste voor de energiebalans van een gebouw?
- d) Beschrijf twee methoden waarmee warmteverliezen in gebouwen kunnen worden gemeten.

**Problem 5 Renewable energy in the built environment (11 points)**

- a) Calculate the heat flow per square meter through the wall in the example below and draw the temperature profile including the effect of the boundary layers. The thermal resistance of the internal boundary layer is  $0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  and from the external boundary layer  $0.04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .



- b) An electric compression heat pump transfers heat from  $10^\circ\text{C}$  to  $60^\circ\text{C}$ . The compressor needs 1 kW of electrical power to let the heat pump deliver 4 kW of heat. The compressor (1) is one of the four main components of the heat pump.



- a.) which are the three other main components?
- b.) give the definition of the COP;
- c.) calculate the ideal (Carnot)COP of this heat pump;
- d.) what is the actual COP of this heat pump?
- c) Which two functions of a window are the most important for the energy balance of a building?
- d) Describe two methods that determine heat losses in buildings with measurements.

### Vraagstuk 6 Windenergie (11 punten)

#### Windturbine karakteristieken

Deze vraag betreft een moderne, driebladige variabel toerental bladhoekgeregelde, windturbine met een geïnstalleerd vermogen van 1 MW en een rotordiameter van 60 m.

Deze, naar huidige begrippen vrij kleine, windturbine is geplaatst nabij de bewoonde omgeving.

Om de geluidsproductie te minimaliseren wordt de maximale tipsnelheid van de rotor beperkt tot 60 m/sec. Deze 60 m/s tipsnelheid wordt bereikt bij een windsnelheid van 10 m/s, terwijl de zogenaamde nominale windsnelheid 12 m/s is.

- a) Wat is the snellopendheid van deze windturbine bij een windsnelheid van 10 m/s?
- b) Wat is the tipsnelheid bij een windsnelheid van 9 m/s ?
- c) Geef een schatting van het vermogen dat wordt geproduceerd bij 9 m/s
- d) Wat is tipsnelheid bij een windsnelheid van 15 m/s ?
- e) Welk vermogen wordt er geproduceerd bij een windsnelheid van 15 m/s ?
- f) Wat bepaald de startwindsnelheid van deze turbine?

### Problem 6 Windenergy (11 points)

#### Wind turbine characteristics

In this question we are dealing with a modern three bladed, variable speed, pitch controlled windturbine with an installed capacity of 1 MW and a rotor diameter of 60 m. This, for modern wind energy technology, relatively small windturbine is located near an urban dwelling.

Hence the maximum rotor tip speed is limited to 60 m/sec to minimize noise emission.

This 60 m/s tip speed of this rotor is reached at a wind speed of 10 m/s, while the so-called rated wind speed is 12 m/s.

- a) What is the tip speed ratio of this windturbine at a wind speed of 10 m/s?
- b) What is the tip speed at a wind speed of 9 m/s ?
- c) Give an estimate of the power produced at 9 m/s
- d) What is the tip speed at a wind speed of 15 m/s ?



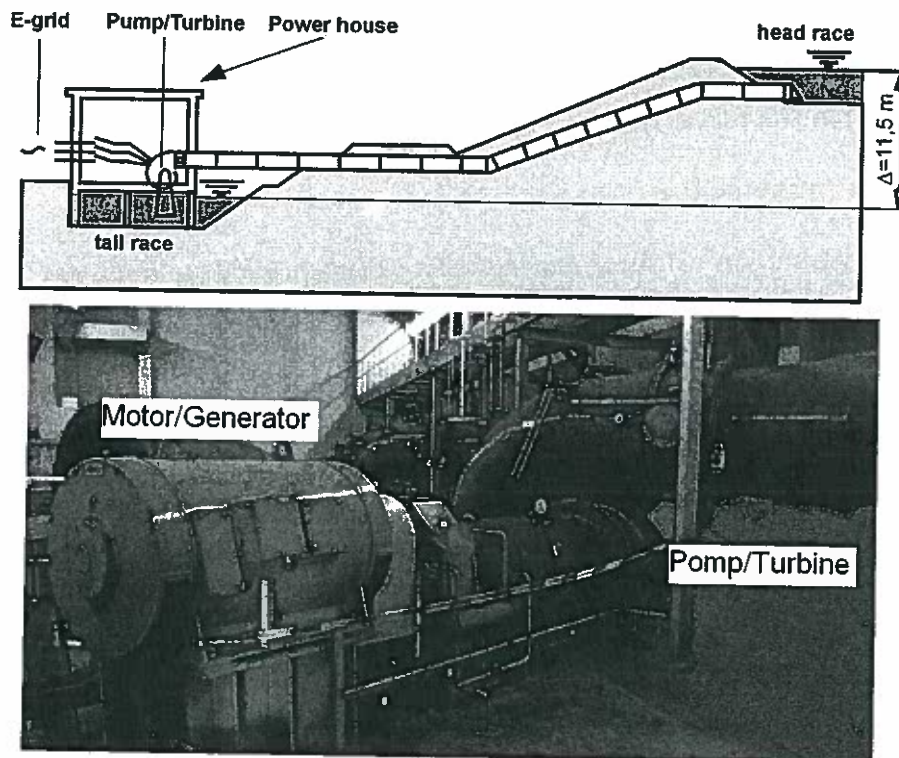
- e) What is the power produced at a wind speed of 15 m/s ?
- f) What determines the cut-in wind speed of this windturbine?

### Vraagstuk 7 Waterkracht (11 punten)

#### POMPEN ALS TURBINES

Waterpompen kunnen vaak omgekeerd gebruikt als waterturbine, eenvoudig door de stromingsrichting van het water om te draaien. Een voorbeeld hiervan bevindt zich in het Julianakanaal in Limburg, waar pompen in droge tijden gebruikt worden voor beheersing van het waterpeil. Vaak is er voldoende water en kan dezelfde installatie gebruikt worden voor het opwekken van waterkracht.

Onderstaande figuur geeft een indruk van de installatie.



In turbinebedrijf stroomt water van boven door de buis naar beneden, via de turbine naar het beneden gelegen reservoir. Als turbine fungeert de machine als het type "Francis". De valhoogte is 11,5 meter. Verwacht wordt dat de installatie 180 kW elektriciteit kan leveren bij een debiet van  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Gevraagd wordt:

- a) Is de turbine van het type "impuls" of "reactie"?



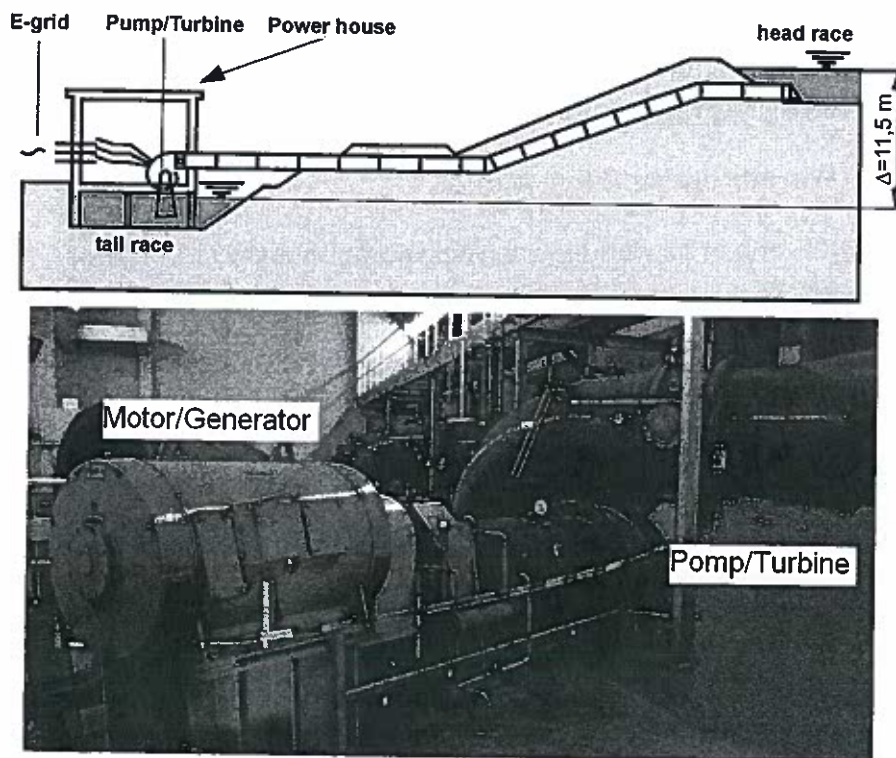
- b) Hoeveel energie kan max. onttrokken worden als  $1 \text{ m}^3$  water van boven- naar beneden stroomt?
- c) Wat is het verwachte totale rendement van deze waterkrachtinstallatie?
- d) Levert de installatie als turbine/generator meer of minder vermogen, dan die als pomp/motor gebruikt (bij gelijk waterdebiet  $[\Phi]$  en hoogteverschil  $[\Delta H]$ ). Leg uit.
- e) De centrifugaalpomp blijkt goed te functioneren als turbine van het type "Francis". Is een andere waterturbine van het type "Pelton", ook als waterpomp te gebruiken?

**Problem 7 Hydropower (11 points)**

**PUMPS AS TURBINES**

Water pumps often can be used as turbines, simply by inverting the water flow. An example can be found in the Juliana channel in Limburg where -in dry seasons- RWS uses pumps to control the water level. During a year however, most often there is more than sufficient water available and the installation in principle can be used to generate hydropower.

Figure below gives an impression of the installation.



During turbine operation, water flows downward from headrace, through the tube and turbine to the tailrace level. In turbine mode the machine operates as a "Francis"- kind of

turbine. The head difference is 11,5 meter. The installation is expected to generate 180 kW electricity at a flow rate of  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Questions:

- a) Is the turbine of the “impulse” or “reaction” type?
- b) In principle what amount of energy can be extracted from  $1 \text{ m}^3$  water flowing downward?
- c) What is the expected total efficiency of this hydro power plant
- d) Does the installation in turbine mode deliver more or less electricity than it consumes in pump-mode (at equal flow rate  $[\Phi]$  and head  $[\Delta H]$ )? Explain.
- e) This centrifugal pump functions well as a “Francis” type turbine. Can another turbine of type “Pelton”, also be used as a pump?

#### Vraagstuk 8 Waterstof (11 punten)

Geef een goede onderbouwing hoe en waarom waterstof kan bijdragen aan een duurzame energievoorziening.  
(tekstlengte ongeveer een halve pagina)

#### Problem 8 Hydrogen (11 points)

Give a rationale why and how hydrogen can contribute to renewable energy.  
(text length about half a page)

#### Opgave 9 Warmte opslag (11 punten)

- a) Beschrijf heel kort de werking van voelbare warmteopslag en latente warmteopslag.
- b) Water is een veelgebruikt warmteopslagmedium.  
Noem drie voordelen en een nadeel.
- c) Met een seizoensopslag van warmte is het mogelijk om de zonnewarmte, geoogst in de zomer, voor de volledige warmtebehoefte in de winter te gebruiken. Het verwarmingssysteem is dan 100% duurzaam.  
Voor de seizoensopslag van warmte voor een woonhuis kiezen we een kubus gevuld met water van  $95^\circ\text{C}$ . De wand van de kubus bestaat uit vacuüm geïsoleerde panelen met een warmteweerstand  $R$  van  $21,979 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
  - 1) Wat is het vermogen aan warmte dat de opslag verliest (in Watt) als de buitentemperatuur  $10^\circ\text{C}$  is?
  - 2) Als de opslag 4 maanden lang warmte moet leveren, wat is dan de totale hoeveelheid warmte die uit de opslag door de isolatie verloren gaat? Neem