Tentamen Blijvende Energiebronnen (4P510)

Datum: **3 november 2010**
Tijd: **09.00 – 12.00 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 tentamen bestaat uit 9 opgaven. Voor elke opgave zijn maximaal 11 punten te behalen, met 1 bonuspunt zijn in totaal 100 punten te halen.

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

Veel succes!

Examination Renewable Energy Sources (4P510)

Date: **November 3, 2010**
Time: **09.00 – 12.00 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 exam consists out of 9 questions. For each question 11 points are available, with 1 extra point the maximum score is 100 points.

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

Good luck!

Vraagstuk 1 Algemene inleiding

a) Leg uit waarom het gebruik van blijvende energiebronnen bij kan dragen aan een duurzame ontwikkeling. Refereer in uw antwoord aan definitie van duurzame ontwikkeling.

b) Beschrijf vier fundamenteel verschillende maatregelen om de emissie van CO_2 door gebruik van fossiele brandstoffen te beperken. Geef bij elke maatregel een korte toelichting.

c) Welke hernieuwbare energie bron produceert op dit moment de grootste hoeveelheid elektriciteit. Geef ongeveer aan wat het aandeel is in de totale elektriciteitsproductie.

Problem 1 General introduction

a) Explain why the use of renewable energy sources can contribute to sustainable development. Refer to the definition of sustainable development in answering this question.

b) Describe four fundamentally different measures to reduce the emission of CO_2 from fossil fuels. Give a short clarification for each measure.

c) Which renewable energy source produces the largest amount of electricity at this moment? Give an indication of the share of electricity production of this source.

Vraagstuk 2 Biomassa

a) Noem 4 manieren om biomassabronnen om te zetten in vloeibare brandstoffen. Beschrijf elk van deze manieren kort (minder dan 2 regels per manier) en geef voordelen en nadelen voor zover mogelijk (< 2 regels per manier).

b) Geef de reactievergelijking voor de conversie van biomassa $C_8H_{12}O_5$ als gevolg van de reactie met 1) pure zuurstof in een verbrandingsproces, 2) pure lucht in een verbrandingsproces, 3) pure zuurstof tijdens een gasificatie proces, 4) gasificatie met behulp van zuiver water en voor 5) pyrolyse. Je mag aannemen dat de molverhouding O_2/N_2 in lucht gegeven is door ¼.

c) Een micro gasturbine loopt constant gedurende twee uur en produceert een electrisch vermogen van 50 kW. Het electrisch rendement van de gasturbine is 20 %. De gasturbine loopt op bio-diesel (36 MJ/liter). Hoeveel liter wordt verbruikt? Hoeveel warmte wordt in die periode geproduceerd en wat zou je daar mee kunnen doen?

Problem 2 Biomass

a) Name 4 different ways to convert biomass sources into liquid fuels. Give a short description of each method (less than 2 lines per method) and give pro's and cons as far as possible (< 2 lines per method).

b) Give the chemical reaction equation for the conversion of biomass $C_8H_{12}O_5$ as a result of the reaction with 1) pure oxygen in a combustion process (to water and carbon-dioxide), 2) pure air in a combustion process, 3) pure oxygen in a gasification process, 4) pure water in a gasification reaction and for 5) pyrolysis. You may assume that the molar ratio O_2/N_2 in air equals ¼.

c) A micro gas turbine runs with constant power for a period of two hours and produces an electric power of 50 kW. The electric efficiency of the gas turbine is 20 %. The gas turbine runs on bio-diesel (36 MJ/liter). How many liters are used? How much heat is produced during this period of time and what could be done with this?

Vraagstuk 3 Fotovoltaïsche omzetting

a) Maak een nauwkeurige tekening van een kristallijn silicium zonnecel en verklaar de rol van de verschillende componenten van de zonnecel.

b) Teken een nauwkeurige schets van het elektrische circuit van een zonnecel en definieer de verschillende stromen die een rol spelen in het circuit als het zonlicht op de zonnecel schijnt.

c) Definieer de stroom-spanning (IV) vergelijking voor een zonnecel en teken dat. Wijs I_{SC} en V_{OC} aan in de tekening en geef hun definities.

d) Een net-gekoppeld fotovoltaïsch systeem is op het dak van een huis geïnstalleerd. Het systeem bestaat uit een aantal PV-modules met een totaal oppervlak van 25 m². Het modulerendement is 17%. Het overall systeemrendement (modules + andere componenten zoals de inverter) is 14%. De jaarlijkse instraling in het vlak van de modules is 1000 kWh/m².

- Wat is het vermogen dat de modules leveren bij Standaard Test Condities (instraling 1000 W/m², 25°C celtemperatuur en AM 1,5 spectrum)?
- Wat is de jaarlijkse specifieke energieopbrengst van het systeem als geheel?

Problem 3 Photovoltaic conversion

a) Draw the detailed structure of a crystalline silicon solar cell and clarify the role of the several components of the solar cell.

b) Draw an accurate scheme of the electrical diagram of a solar cell and define the several currents which play a role in the circuit when the sunlight strikes on the solar cell.

c) Define the current-voltage (IV) equation for a solar cell and draw its diagram. Indicate where I_{SC} and V_{OC} are located and give their definitions.

d) A grid-connected photovoltaic system has been installed on the roof of a house. The system consists of a number of PV modules with a total area of 25 m². The module efficiency is 17%. The overall system efficiency (module + other components like the inverter) is 14%. The yearly irradiation in the plane of the modules is 1000 kWh/m².

- What is the power delivered by the modules at Standard Test Conditions (irradiance 1000 W/m², 25°C cell temperature and AM 1.5 spectrum)?
- What is the yearly specific energy yield of the system as a whole?

Vraagstuk 4 Zonnecollectoren

a) Voor een vlakke plaat collector kan de efficiëntie geschreven worden als:

$$\eta = F_R (I_p - h_v (T_i - T_a))/I_0$$

Benoem alle grootheden in deze formule.
Geef de SI eenheden erbij.

b) Wat gebeurt er als de collector stagneert?

c) Gebruik bovenstaande formule om een formule voor de stagnatietemperatuur af te leiden.

d) Waarom worden de temperaturen in een afgedekte vlakke plaat collector hoger dan in een niet-afgedekte collector?
Wat zijn de twee belangrijkste warmteverlies mechanismen.

e) Is een spectraal-selectieve coating spiegelend of absorberend voor infrarood licht.

Problem 4 Solar collectors

a) For a flat-plate solar collector the efficiency can be written as:

$$\eta = F_R (I_p - h_v (T_i - T_a))/I_0$$

Describe all the quantities in this formula.
Give also the corresponding (SI)units.

b) What happens if a collector gets into stagnation?

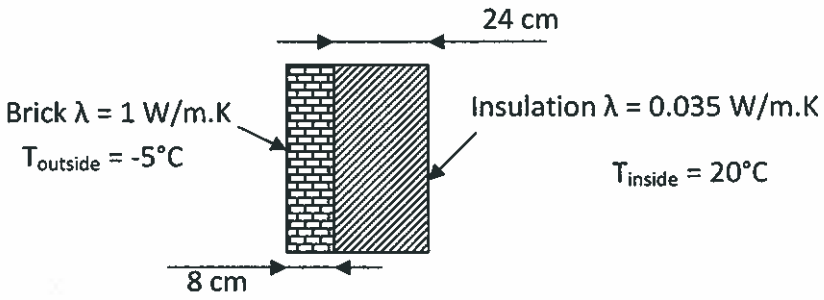
c) Use the formula above to derive a formula for the stagnation temperature.

d) Why are the temperatures reached in a covered solar collector higher than in a non-covered collector.
What are the two most important heat loss mechanisms.

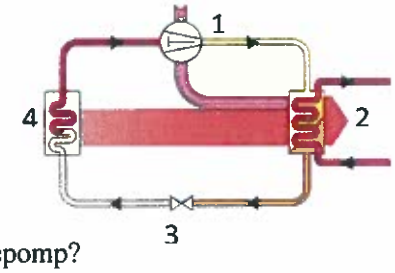
e) Is a spectral selective coating reflecting or absorbing for infrared radiation.

Vraagstuk 5 Duurzame energie in de gebouwde omgeving

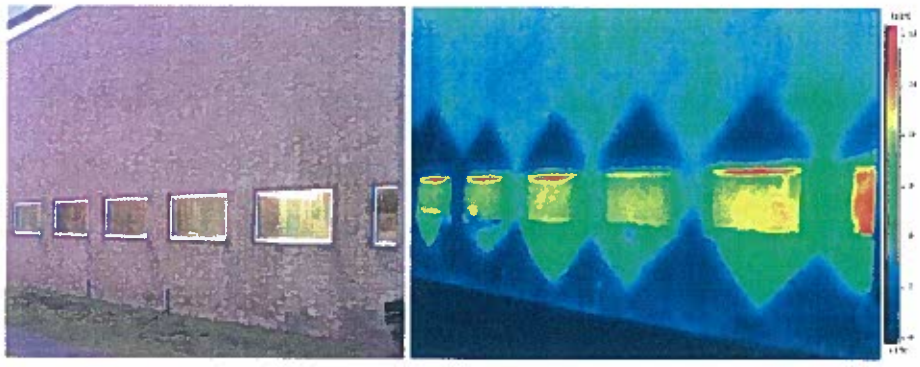
a) Bereken de warmtestroom per vierkante meter door onderstaande muur en teken het temperatuurverloop door de muur, inclusief het effect van de grenslagen. De weerstand van de interne grenslaag bedraagt 0.13 m^2.K/W en van de externe grenslaag 0.04 m^2.K/W.



b) Een elektrische compressiewarmtepomp verpompt warmte van 8 °C naar 58 °C. De warmtepomp is aangesloten op een verticale bodemwarmtewisselaar en ontrekt hieraan 3,5 kW. De compressor heeft 1 kW elektriciteit nodig om de warmtepomp aan te drijven.
De compressor (1) is een van de 4 hoofdonderdelen van een warmtepomp.
a) wat zijn de andere drie hoofdonderdelen?
b) wat is het (thermisch) vermogen dat de warmtepomp levert in bovenstaande omstandigheden?
c) bereken de ideale (Carnot) COP van deze warmtepomp;
d) wat is de daadwerkelijke COP van de warmtepomp?



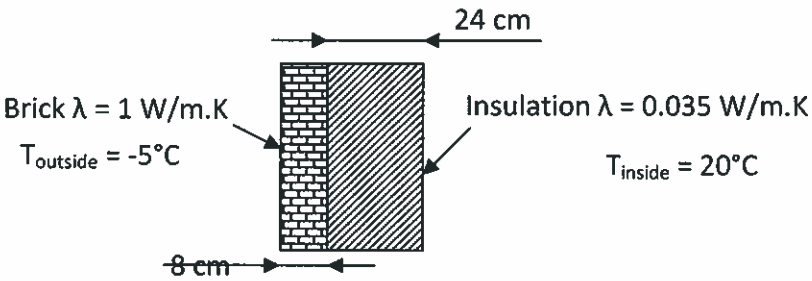
c) Hieronder een infrarood foto van een buitenmuur van een gebouw genomen tijdens een frisse herfstdag. De donkere blauwe kleur is ca. 6°C, de rode circa 12°C. Verklaar wat er aan de hand is en waardoor de blauwe driehoeken ontstaan.



d) Noem de drie stappen van de Trias Energetica in juiste volgorde.

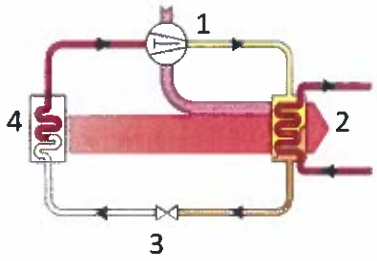
Problem 5 Renewable energy in the built environment

a) Calculate the heat flow per square meter trough 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 m^2.K/W and from the external boundary layer 0.04 m^2.K/W.

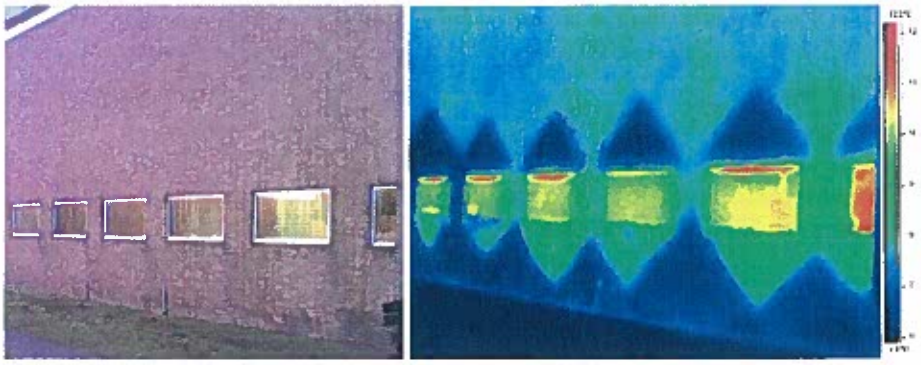


b) An electric compression heat pump transfers heat from 8 °C to 58 °C. The heatpump is connected to a vertical earth heat exchanger that extracts 3,5 kW from the soil. The compressor needs 1 kW electrical power to run the heatpump. The compressor (1) is one of the four main components of the heatpump.

a. what are the three other main components?
b. What is the thermal output of the heatpump given the above mentioned conditions?
c. calculate the ideal (Carnot)COP of this heat pump;
d. what is the actual COP of this heat pump?



c) Below you find an infrared image of a building taken on a chilly day in November. The dark blue color represents a temperature of 8°C, the red color 12°C. Explain what is happening and why you can see blue triangles.



d) What are the three steps in de Trias Energetica and what is the right order?

Vraagstuk 6 Windenergie

Beschouw de Vestas V90 turbine. Dit is een variabel toerental turbine met een (elektrisch) nominaal vermogen van 3 MW en een rotor diameter van 90 m. In deze vraag worden een aantal eigenschappen van de turbine geschat op grond van algemene theorie.

a) De tipsnelheid van een rotorblad van een moderne windturbine is begrensd vanwege het geluid. Een typisch maximale waarde is 80 m/s. Bereken het maximale rotor toerental van de V90 turbine op grond van deze maximale tipsnelheid.

b) De nominale windsnelheid V_r dient groot genoeg te zijn om te zorgen dat de windturbine het nominaal vermogen kan leveren. Bereken de minimale nominale windsnelheid voor de V90 turbine; ga uit van een rendement van de drive train (tandwielkast en generator) van η=0.9 en een maximale waarde van de vermogenscoefficient van C_p=0.45 (ρ=1.25 kg/m^3)

c) Bepaal de snellopendheid λ bij de nominale windsnelheid V_r.

d) Wat is het toerental bij de cut-in windsnelheid $V_{cut\text{-}in}$=4 m/s?

e) Schets (dus dit hoeft niet op schaal te zijn) de Ω-V grafiek voor deze turbine; dit is dus het toerental als functie van de windsnelheid. Neem aan dat de cut-out windsnelheid
$V_{cut\text{-}out}$=25 m/s.

f) Toekomstige windturbines kunnen een rotor diameter van 200 m hebben. Teken in dezelfde figuur de Ω-V relatie voor zo'n grote turbine.

Geef je antwoorden in 3 cijfers (dus schrijf 8.2591108 als 8.26); vergeet niet om de eenheid te vermelden.

Problem 6 Wind energy

Consider the Vestas V90 turbine. This is a variable speed turbine with an (electrical) power rating of 3 MW and a rotor diameter of 90 m. In this question some characteristics of the turbine will be estimated on basis of standard theory.

a) The tip speed of a rotor blade of a modern wind turbine is limited due to noise restrictions. A typical maximum value is 80 m/s. Calculate the maximum rotor speed of the V90 turbine on basis of this maximum tip speed.

b) The rated wind speed V_r should be large enough in order that the wind turbine can produce the rated power. Calculate the minimum rated wind speed for the V90 turbine; assume an efficiency of the drive train (gearbox and generator) of η=0.9 and a maximum value of the power coefficient of C_p=0.45 (ρ=1.25 kg/m^3)

c) Determine the tip speed ratio λ at rated wind speed V_r.

d) What is the rotational speed at the cut-in wind speed $V_{cut\text{-}in}$=4 m/s?

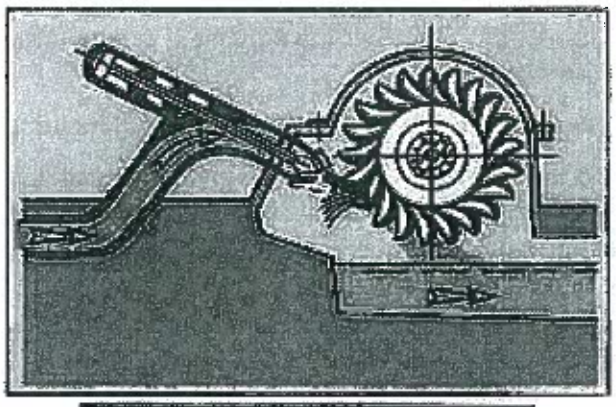
e) Sketch (i.e. does not have to be to scale) the Ω-V graph for this turbine; i.e. this is the rotational speed versus wind speed. Assume that the cut-out wind speed $V_{cut\text{-}out}$=25 m/s.

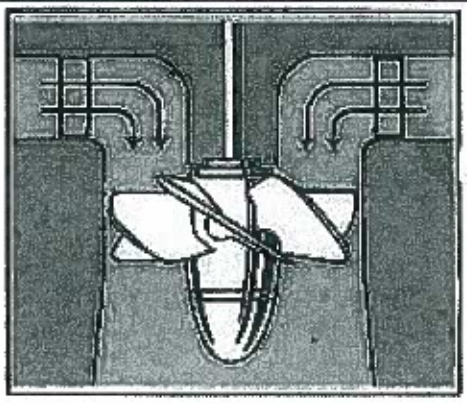
f) Future wind turbines can have rotor diameters of 200 m. Draw in the same figure the Ω-V relation for such a large turbine.

Specify your answers in 3 digits only (i.e. write 8.2591108 as 8.26); do not forget to mention units.

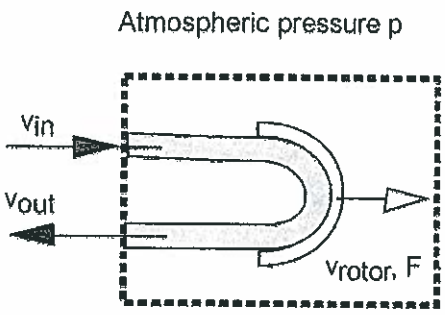
Vraagstuk 7 Waterkracht

De schema's hieronder geven afbeeldingen en weergave van rotordoorstroming voor twee turbines, A and B.

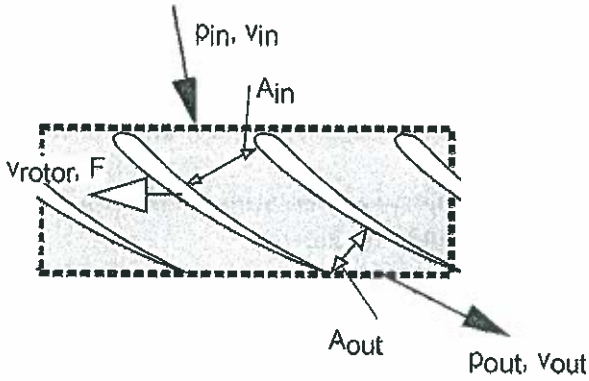




Turbine A



Turbine B



Snelheden zijn weergeven t.o.v. een met de rotor meebewegend referentiestelsel (aangegeven door de stippellijn). De vergelijkingen voor massabehoud, energie (Bernoulli) en impuls mogen toegepast worden op dat referentiestelsel. Vloeistofwrijving mag worden verwaarloosd.

a) Van welk type is turbine A en turbine B: Impuls of Reactie?

b) **Voor turbine A** is de druk bij instroom en uitstroom gelijk aan de atmosferische druk. Als hoogteverschillen tussen in- en uitstroom mogen worden verwaarloosd, is dan de uitstroomsnelheid v_{out} (t.o.v. het meebewegend stelsel), groter, gelijk of kleiner dan de instroomsnelheid v_{in}?

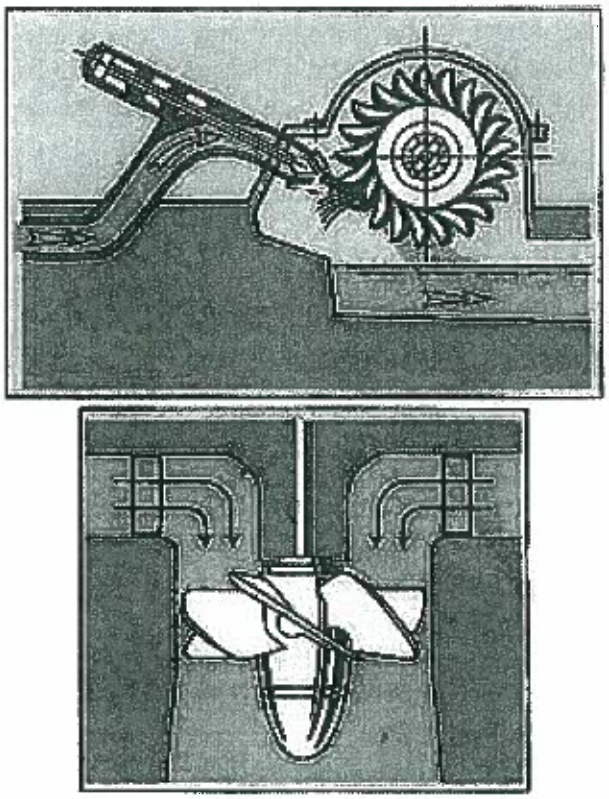
c) **Voor turbine B** is de rotor volledig gevuld met water en is de druk bij in- en uitstroom niet gelijk. Tengevolge van de geometrie is het instroomoppervlak A_{in} (in stromingsrichting) groter dan het uitstroomoppervlak A_{out}. Is de uitstroomsnelheid v_{out} (t.o.v. het meebewegend stelsel), groter, gelijk of kleiner dan de instroomsnelheid v_{in}?

d) **Is voor turbine B** de druk bij uitstroom p_{out}, groter, gelijk of kleiner dan de druk bij instroom p_{in}? (hoogteverschillen tussen in- en uitstroom mogen worden verwaarloosd).

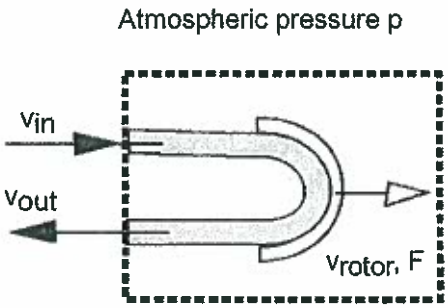
e) Voor een gegeven vermogen P [W], beweegt turbine B sneller dan turbine A ($v_{rotor,B} > v_{rotor,A}$). Is de aandrijvende totale rotorkracht voor turbine B groter, gelijk of kleiner dan de rotorkracht voor turbine A, en waarom?

Problem 7 Hydropower

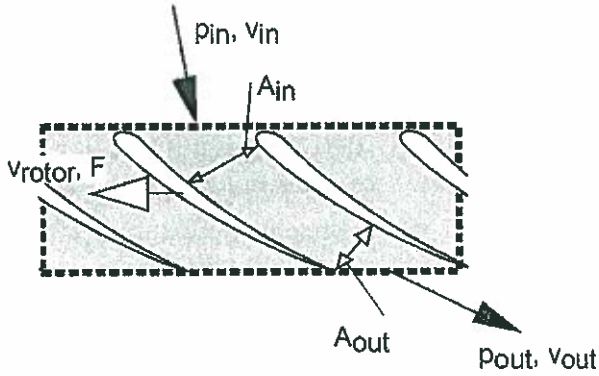
In the schematics below gives the turbine layout and flow pattern inside the two rotors, A and B.



Turbine A



Turbine B



Velocities are given relative to the frame of reference (depicted by the dashed line, moving with the rotor). You may apply equations of continuity, conservation of energy (Bernoulli) and impulse relative to the moving frame of reference. Fluid friction may be neglected.

a) Of which type is turbine (A) and of which type turbine (B): Impulse or Reaction?

b) **For turbine A**, the pressure at inlet and outlet is atmospheric. When neglecting elevation differences between in- and outlet, is the outlet velocity v_{out} (relative to the moving frame of reference) larger, equal or smaller than the inlet velocity v_{in}?

c) **For turbine B**, the rotor is fully submerged and pressure at inlet not equal to the pressure at outlet. Due to the shape of the runner blades, the inlet area in stream wise sense A_{in}, is larger than outlet A_{out}. Is the outlet velocity v_{out} (relative to moving frame of reference) larger, equal or smaller than the inlet velocity v_{in}?

d) **For turbine B**, is the pressure at outlet p_{out} higher, equal or lower than the pressure at inlet p_{in}? (again elevation differences between in- and outlet may be neglected).

e) For a given power output P [W], turbine B moves faster than turbine A ($v_{rotor,B} > v_{rotor,A}$). Is the propelling rotor force F for turbine B larger, equal or smaller than rotor force F for turbine A, and why?

Vraagstuk 8 Waterstof

Waterstof speelt al een belangrijke rol in de productie van schone transportbrandstoffen. Waterstof kan daarnaast een efficiënte energiedrager worden in de toekomst die een duurzame koolstofvrije economie mogelijk maakt.

a) Welk industrieel proces wordt momenteel voornamelijk gebruikt voor de productie van waterstof? Waarom wordt dit als een niet-duurzaam proces beschouwd?

b) Hoe kan dit proces duurzaam gemaakt worden?

c) Noem minstens 4 manieren om op een duurzame(re) manier waterstof te maken en bediscussieer de belangrijkste aspecten.

De vrije energie en enthalpieverandering van de reactie $H_2 + ½ O_2 \rightarrow H_2O$ zijn respectievelijk 237 kJ/mol en 286 kJ/mol.

d) Geef schematisch de werking van een brandstofcel aan en geef de twee electrochemische halfreacties van een waterstof brandstofcel.

e) Bereken de maximale efficiëntie van een waterstof brandstofcel onder 'open circuit' condities.

f) Geef minstens één voordeel buiten de hogere efficiëntie van het gebruik van een brandstofcel vergeleken met verbranding van waterstof.

Problem 8 Hydrogen

Hydrogen plays already an important role in the production of clean transportation fuels. It might become an efficient energy carrier in the future facilitating a shift to a sustainable low carbon society.

a) What is currently the main route for H_2 production? Why is this process not regarded as a sustainable production process for hydrogen?

b) How can this industrial process be made more sustainable?

c) Mention at least four other ways to make H_2 in a (more) sustainable manner and discuss briefly the main aspects.

The free energy and enthalpy change for the reaction $H_2 + ½ O_2 \rightarrow H_2O$ are 237 kJ/mol and 286 kJ/mol, respectively.

d) Give a schematic representation of a fuel cell and give the two electrochemical halfreactions of a hydrogen fuel cell.

e) Compute the maximum efficiency of a hydrogen fuel cell under open circuit conditions.

f) Give at least one advantage besides the higher efficiency of the use of hydrogen fuel cells to generate work compared to hydrogen combustion.

Opgave 9 Warmte opslag

a) Geef drie hoofdvormen voor opslag van warmte en beschrijf hun principe werking.

b) Water is een veelgebruikt warmteopslagmedium.
Noem drie voordelen en een nadeel.

c) Een tank is gevuld met paraffine, met een smelttemperatuur van 50 °C. De paraffine wordt langzaam verwarmd. De temperatuur neemt toe van 25 tot 100 °C. Schets de hoeveelheid opgenomen warmte als functie van de temperatuur.

Problem 9 Heat Storage

a) State three main principles of heat storage. Describe their working principle.

b) Water is widely used as a heat storage medium.
Give three advantages and one disadvantage.

c) A tank is filled with paraffin, with a melting temperature of 50 °C. The paraffin is heated slowly. The temperature increases from 25 to 100 °C. Draw the amount of heat taken up as function of the temperature.