

**aan alle
werkgroepen
v.d. sectie
ENERGIE**

Evaluatie energievoorziening België

Prioriteit: DRINGEND

Omschrijving v.d. opdracht

Op 1 maart 2010 heeft de regering beslist het gebruik van de kerncentrales en de klassieke centrales van het land terug te brengen tot de helft. Deze beslissing berust op volgende argumenten:

- De regering beseft dat de fossiele brandstof die voorradig is op aarde aan een zeer hoog tempo wordt opgebrand en dat er binnen afzienbare tijd geen brandstof meer zal zijn (zie p.6 energiebrochure). Gezien deze stoffen veel beter kunnen aangewend worden in de industrie (bv. olie voor het vervaardigen van plastic en andere kunststoffen), acht zij het nodig het gewoon verbranden van deze grondstof af te remmen. De oliecrisis van de 70-er jaren heeft België er bovendien blijvend op gewezen hoe afhankelijk ons land – door afwezigheid van eigen (fossiele & nucleaire) grondstof - is van andere landen om energie te kunnen leveren aan haar bevolking.
- De regering is van oordeel dat het hoogradioactief afval dat in de kerncentrales als restproduct van het energieproductieproces vrijkomt veilig kan opgeborgen worden. Vermits deze stoffen nog zeer lang zullen stralen, acht zij het echter (deels onder druk van de publieke opinie) raadzaam het gebruik van kernsplijting te verminderen om toekomstige generaties niet nodeloos te belasten met “ons” afval. Bovendien acht zij het raadzaam verder onderzoek te doen naar het effect van ioniserende straling op het menselijk lichaam. Het verminderen van het gebruik van de kerncentrales leek in dat opzicht en op dat moment een goede strategie.
- Het broeikas effect en zure regen worden meer en meer gezien als het gevolg van het lozen van koolstof- en zwavelhoudende gassen die vrijkomen bij het verbranden van fossiele brandstoffen. Hoewel wetenschappers het nog niet eens zijn over de omvang van het probleem of hoe het best aangepakt kan worden, heeft de regering beslist de normen van CO₂-uitstoot strenger te maken.

Als wetenschapper die deel uitmaakt van de cel “Energie” van het studie bureau *Answers4U* dient U een studie te maken van de haalbaarheid van dit project. De mogelijkheden van iedere alternatieve energieproductiemethode dienen onderzocht te worden.

De regering wil de energie betrekken uit 3 alternatieve energievormen: wind, waterkracht en fotonvoltaïsche cellen. Het onderzoek wordt verricht door 4 teams: 1 team onderzoekt de mogelijkheden van windenergie, 1 team de mogelijkheden van waterkrachtenergie en 1 team de mogelijkheden van zonne-energie. Er is eveneens een team dat de huidige productiemethodes bestudeert en een prognose maakt voor kernfusie. U kan gebruik maken van de gegevens in de energiebrochure. Hoewel deze brochure in 1998 gemaakt werd, zijn de cijfers een redelijke maatstaf voor de huidige cijfers.

Deze studie behelst ALLEEN het aandeel energie dat aangewend wordt in de vorm van ELEKTRICITEIT (gemiddeld 812W/inwoner; zie energiebrochure p. 2). Andere vormen van energieverbruik (benzine voor auto's, stookolie voor verwarming, ...) maken deel uit van een andere studie. Voor België is de TOTALE primaire energie nodig om in onze behoeften te voorzien 8.27kW/inwoner.

De elektriciteit in België komt voor 60% van kerncentrales, 38% van fossiele brandstoffen, en de rest van hernieuwbare energie.

De regering heeft morgen haar volgend overleg over het energiebeleid. Gelieve daarom vandaag een eerste ruwe studie aan de woordvoerder van Uw werkgroep voor te leggen. Uw woordvoerder

dient deze resultaten samen te vatten tijdens het gezamenlijk overleg van alle werkgroepen van de sectie ENERGIE om 16:45h in de grote vergaderzaal.

Nuttige definities:

Snelheid : afgelegde afstand per tijdseenheid, uitgedrukt in meter per seconde
[m/s]

Versnelling : verandering van snelheid per eenheid van tijd
[m/s²]

Kracht : massa maal versnelling
[kg m/s²]

Energie : kracht maal afgelegde weg
[1Joule = 1J = 1kg m²/s²]

Vermogen : verbruikte of geproduceerde energie per seconde
[1Watt = 1W = 1J/s]

Vooraf de laatste twee definities zijn van belang voor Uw studie van de energiebehoeften en het energieverbruik.

1kW = 1000W = 10³W
1MW = 1000000W = 10⁶W
1GW = 1000000000W = 10⁹W
1TW = 1000000000000W = 10¹²W

Nota voor de leerkracht: Ten gevolge van afrondingsfouten kunnen de laatste cijfers van de resultaten die de leerlingen vinden iets verschillen van de resultaten hieronder.

Werkgroep WINDENERGIE

Op p.14 van de energiebrochure vind je de formule die toelaat te berekenen hoeveel vermogen een windmolen levert. We maken hier eerst een direct bruikbare formule van. Veronderstel dat de efficiëntie de huidig haalbare is: 36%. Als we nadien rekening willen houden met technologische verbeteringen dienen we een verhoogde efficiëntie te gebruiken in de formules. In het meest optimale geval (wanneer er geen turbulentie is, wanneer er geen wrijvingsverliezen in de dynamo van de molen en op de rotorbladen zijn), moeten de resultaten die we hier zullen vinden dan met een factor $0.36/0.6=0.6$ aangepast worden. Om het nadelig effect van turbulentie te verminderen worden de windmolens een zekere afstand (typisch 10 keer de rotordiameter) van elkaar geplaatst.

Stap 1:

Het oppervlak van de cirkel die door de rotorbladen bestreken wordt, is

$$A [m^2] = \pi r^2$$

waarin de straal r (=lengte van het rotorblad) uitgedrukt wordt in meter [m].

Stap 2:

We nemen de gemiddelde massadichtheid van lucht: 1.2kg/m^3 . De formule wordt dus

$$P = c r^2 v^3$$

De constante c hierin is

Het vermogen P is hier in uitgedrukt in W (Watt), de lengte van het rotorblad r in m (meter) en de windsnelheid v in m/s .

De meest voorkomende snelheid aan onze kust is $6\text{ à }8\text{m/s}$. Druk deze snelheden uit in km/uur ($1\text{km}=1000\text{m}$, $1\text{uur}=3600\text{s}$).

$$v = \dots \text{ km/u } \text{ à } \dots\dots\dots\text{km/u}$$

De regering wenst na te gaan hoeveel windmolens er nodig zijn om een centrale van 1GW (10^9W), een typische maat voor een grote kolen- of kerncentrale, te vervangen? [Als windenergie veelbelovend blijkt te zijn, dan overweegt de regering meer dan 1 centrale door windmolens te vervangen. In dat geval worden de hier bekomen cijfers vermenigvuldigd met het aantal centrales.]

Bereken het vermogen dat uit een windmolen met een straal van 1m gehaald kan worden wanneer de wind aan een snelheid van 8m/s blaast.

$$P = \dots\dots\dots\text{W}$$

Bereken hoeveel oppervlak er dan nodig is om een centrale van 1GW te vervangen

$$A = \dots\dots\dots\text{m}^2$$

Als we windmolens met een rotorblad van 25m gebruiken, hoeveel moeten we er dan zetten?

.....

De windsnelheid is niet steeds dezelfde. Bereken hoeveel molens we nodig hebben als de windsnelheid maar de helft (4m/s) is? Hoeveel zijn er nodig als de windsnelheid dubbel zo groot is (16m/s)? [Boven de 20m/s is het risico op vervorming van de rotorbladen of blijvende beschadiging aan de as en dynamo te groot en worden de molens afgezet.]

..... en

Hoe kleiner de windsnelheid, hoe meer windmolens we nodig hebben. Als we alleen van wind gebruik zouden maken, zouden we dus zeer veel molens moeten hebben om ook aan de energiebehoeften te kunnen voldoen als er weinig wind is. Hoe lang is de rij windmolens die tezamen 1 GW opwekken, als we uitgaan van het geval waar de “gemiddelde” snelheid 8m/s beschouwd wordt en als alle molens op de minimum afstand van mekaar staan (d.w.z. de tussenafstand = 2 maal de lengte van het rotor blad) ? Hoe lang is de rij als we voldoende molens bouwen om ons van energie te voorzien vanaf 4m/s?

..... en

Omdat de wind niet steeds uit dezelfde richting blaast en de molens dus in mekaars “schaduw” kunnen staan, plaatst men ze 10 rotordiameters uit mekaar; totale afstand is dan maal 11. Soms worden ze dichter bij mekaar gezet en is het rendement ten gevolge van turbulentie niet optimaal.

Als alle elektriciteit voor alle Belgen uit windenergie zou gehaald worden, hoeveel molens met wieken van 25m zouden er dan moeten staan als we er gemakkelijks halve van uit gaan dat $v=8\text{m/s}$? En als we rekening houden met $v=4\text{m/s}$? [Er zijn ongeveer 10 miljoen Belgen, die elk gemiddeld 812W aan elektriciteit verbruiken]

..... en

Besluiten en aanbevelingen van de werkgroep WINDENERGIE:

Werkgroep ZONNE-ENERGIE

De regering wil gebruik maken van fotovoltaïsche cellen om een deel van de energiebehoeften te dekken. Het theoretisch maximale rendement van deze cellen is 34%. In de praktijk is dit ongeveer 10%. De regering stelde voor de studie te maken met dit cijfer voor de efficiëntie. De bekomen resultaten dienen gecorrigeerd te worden met een factor

[nieuwe efficiëntie] / [oude efficiëntie]

als de efficiëntie in de toekomst verbeterd kan worden.

Het gemiddeld ingestraald vermogen in België is 110W/m^2 . In de zomer stijgt dit tot 200W/m^2 , maar in de winter valt dit terug op 20W/m^2 . [zie energiestudie p. 11-12]

De praktische formule om te berekenen welk vermogen kan gewonnen worden met deze methode (efficiëntie: 10%) is

$$P = 0.1 P_{\text{zon}}$$

De regering moedigt de mensen aan zonnepanelen op hun dak te plaatsen om een deel van hun energie zelf te winnen. Gebruik makend van de tabel onderaan p.5 in de brochure maken we een berekening van de haalbaarheid voor een typisch gezin (vader, moeder en 2 kinderen). We bekijken de situatie voor de tijd tussen 18u en 19u. Hoewel er 's avonds geen zon is, veronderstellen we

- dat er GEEN stockagekosten zijn en
- dat we het gemiddelde cijfer voor het ingestraald vermogen mogen gebruiken.

(a) Situatie in de WINTER

5 lampen gedurende 1 uur
2 spotlichten gedurende 1 uur
2 Muziekinstallaties gedurende 1 uur
Strijkijzer 10 minuten
Water boiler 15 minuten
Kookvuur 30 minuten
Verwarming (4 elektrische verwarmingstoestellen) 1 uur

Totaal voor de familie tussen 18u en 19u(*)

gedurende 1 uur

[de omrekening naar Joule (maal 3600) is onnodig: nadien dienen we toch terug te komen naar Watt (gedeeld door 3600)]

(*) een aantal kosten (TV, computer, ijskast, diepvries) werden niet in rekening gebracht en dus zijn de totalen slechts subtotalen om een tendens weer te geven.

Hoeveel m² panelen moeten geïnstalleerd worden om deze behoeften te dekken? Als de panelen op het (plat) dak van het huis van het gezin en in de tuin gelegd zouden worden, en als het plan van de eigendom van de familie in kwestie een vierkant zou vormen, wat moet dan de lengte van de zijde van dit vierkant zijn opdat zij met zonnepanelen hun behoeften kunnen dekken?

..... en

(b) situatie in de ZOMER

- 5 lampen 1 uur
- 2 spotlichten 1 uur
- 2 Muziekinstallaties 1 uur
- Strijkijzer 10 minuten
- Water boiler 15 minuten
- Kookvuur 30 minuten
- Verwarming (4 elektrische verwarmingstoestellen)

gedurende 1 uur

Totaal voor de familie tussen 18u en 19u(*)

(*) een aantal kosten (TV, computer, ijskast, diepvries) werden niet in rekening gebracht en dus zijn de totalen slechts subtotalen om een tendens weer te geven.

Hoeveel m² panelen moeten geïnstalleerd worden om deze behoeften te dekken? Wat is de zijde van een vierkant dat dit oppervlak bedekt?

..... en

Als alle elektriciteit voor alle Belgen uit zonne-energie zou gehaald worden, welk oppervlak moeten we dan bedekken in de winter en in de zomer? [Er zijn ongeveer 10 miljoen Belgen, die elk gemiddeld 812W aan elektriciteit verbruiken] Wat is de zijde van een vierkant met dat oppervlak?

Oppervlak:(winter) en(zomer)

Zijde:(winter) en(zomer)

Bemerking:

- De zon schijnt het meest wanneer we ze het minst nodig hebben voor verwarming (in de zomer) en verlichting (overdag). Er dient dus opslagruimte voorzien te worden om energie op te slaan. Wanneer de energie tijdelijk opgeslagen wordt in batterijen, dient de elektriciteit omgezet te worden in chemische energie (efficiëntie van dit proces: 72%), en later terug in elektrische energie (efficiëntie van dit proces: 91%). In totaal gaat dus % verloren.
- Energie overdag opslaan om haar 's avonds te gebruiken vergt relatief weinig opslagruimte (de batterijen die 's avonds geleegd worden, worden de dag daarop weer aangevuld), maar energie in de zomer opslaan voor gebruik in de winter vergt een veel groter energiereservoir. Bovendien dient rekening gehouden te worden met weglekkende energie.
- Studies wijzen uit dat zonne-energie in zonnige streken ongeveer 10fr/kWh kost t.t.z. 2 maal de huidige prijs (voor niet-industriëel gebruik en rekening houdend met dag- en nachttarief, was de door Electrabel aangerekende energieprijis in 1998 ongeveer 5fr/kWh). Ten gevolge van opslagkosten is de productieprijs voor zonne-energie in ons land 50fr/kWh.

N.B.: Hoeveel m² fotovoltaïsche cellen zijn nodig om een muziekinstallatie te laten werken in de zomer en in de winter?m² enm²

Besluiten en aanbevelingen van de werkgroep ZONNE-ENERGIE:

Werkgroep WATERKRACHTENERGIE

In 1998 had België reeds zijn huidig aantal (16) waterkrachtcentrales. Ons land is echter relatief vlak en dus kan niet zoveel vermogen gewonnen worden uit waterkracht: de centrales leveren samen (maximaal) 86.7MW t.t.z. minder dan 1/10 van één van de meeste kerncentrales. Om een idee te krijgen van de mogelijkheden van waterkracht maken we de berekening voor één van de twee spaarbekkens in Coe. Deze spaarbekkens (kunstmatige vijvers die op een hoogte van ongeveer 40m boven turbines liggen die kunnen aangedreven worden door het water van de vijvers op de turbinebladen te laten vallen) kunnen voor korte tijd (ongeveer 6 h) 1 centrale van 1.1GW vervangen, als er een panne is of onderhoud nodig is.

De formule voor de waterkrachtcentrale is (zie energiebrochure p.12)

$$P = Q g h$$

met het vermogen P in Watt (W), het debiet Q in kg/s, g de zwaartekrachtsconstante (9.8m/s^2) en h (m) het hoogteverschil.

Hoeveel m^3 water is er nodig in een spaarbekken 40m boven de turbines om gedurende 1 seconde een centrale van 1GW te vervangen? [1kg water neemt $1/1000\text{m}^3$ in]

..... m^3 =.....ton

Als een vijver 1000m lang en 1000m breed is (grootte van 200 voetbalvelden) hoe diep moet die dan zijn om 1 centrale gedurende 1uur te kunnen vervangen? Als de vijver genoeg water bevat om voor 6u een centrale te vervangen, hoe diep zou hij dan moeten zijn?

.....m enm.

Als we alle Belgen van elektriciteit zouden moeten voorzien door gebruik te maken van een stuwdam voorzien van een stuwmeer met een diepte van overal 40m, wat zou dan het debiet moeten zijn van de rivier die dit meer vult? [Er zijn ongeveer 10 miljoen Belgen, die elk gemiddeld 812W aan elektriciteit verbruiken]

.....ton water/seconde.

Besluiten en aanbevelingen van de werkgroep WATERKRACHTENERGIE:

Werkgroep FOSSIELE BRANDSTOFFEN en KERNENERGIE

Momenteel wordt in België elektriciteit voortgebracht door het verbranden van fossiele brandstoffen en door kernsplijting. De fossiele brandstoffen (kolen, gas, olie) geven aanleiding tot het broeikas effect, terwijl de kernsplijting hoogradioactief afval voortbrengt. Het is Uw taak de regering in te lichten over de hoeveelheid brandstof die jaarlijks nodig is om een centrale van 1GW te bevoorraden, en te berekenen hoeveel broeikasgas in de atmosfeer geloosd wordt. U dient ook te berekenen hoeveel brandstof er jaarlijks nodig is voor een kerncentrale op basis van kernsplijting. Tenslotte dient U een schatting te maken voor een (nog niet bestaande) kernfusiereactor.

De massa van een atoomkern wordt doorgaans gegeven in verhouding tot de massa van een waterstofkern (H, proton). Het atoomgetal van H is dus 1, dat van C is 12 en dat van O is 16. Het atoomgetal van het verrijkt uranium gebruikt in kernsplijtingscentrales is 235. Het atoomgetal van D (deuterium) is 2, dat van T (tritium) is 3. De massa van een proton (H) is $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg, $1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}$ J.

Het vermogen van een centrale wordt gegeven in W geproduceerde elektriciteit. Gezien de elektriciteit geproduceerd wordt door omzetting van thermische energie in mechanische energie (van de turbineschoepen) in elektrische energie (dynamo) en de omzetting niet verliesloos gebeurt, dient een efficiëntiefactor ingevoerd te worden. Deze factor is ongeveer 1/3: $1W$ "thermisch" levert $1/3W$ "elektrisch".

A) Fossiele brandstoffen

Op p.16 van de energiebrochure vindt U de chemische reacties die optreden bij het verbranden van koolstof en methaan. Bereken hoeveel reacties er per seconde nodig zijn om met een steenkoolcentrale gedurende 1s een vermogen van 1GW voort te brengen, als we er van uit gaan dat we over antraciet (zuivere koolstof) als brandstof beschikken. Bereken ook hoeveel CO_2 er vrijkomt bij dat proces:

... kg C nodig per seconde

... kg CO_2 komt vrij per seconde

Bereken hoeveel steenkool zo een centrale per jaar nodig heeft en hoeveel CO_2 zij uitstoot.

... kg C nodig per jaar

... kg CO_2 komt vrij per jaar

Doe dezelfde berekening voor een gascentrale op basis van zuiver methaan.

... kg CH_4 nodig per seconde

... kg CO_2 komt vrij per seconde

... kg CH_4 nodig per jaar

... kg CO_2 komt vrij per jaar

In Duitsland maakt men gebruik van bruinkool om elektriciteit op te wekken. Op p.18 van de energiebrochure vindt U de calorische waarde van een aantal brandstoffen. Kan je, uitgaande van de resultaten die je net vond voor steenkool, bepalen hoeveel bruinkool er nodig is voor een centrale met hetzelfde vermogen? ...kg/s ...Ton/jaar

B) Kernsplijting

In kernsplijtingsreactoren wordt ^{235}U gebruikt. Op p.18 wordt de reactie schematisch weergegeven.

Bereken hoeveel brandstof er nodig is om een centrale van 1GW 1s te laten werken.

... kg ^{235}U nodig per seconde

... kg ^{235}U nodig per jaar

Na de kernsplijting blijven hoogradioactieve splijtingsfragmenten over die zeer lang blijven stralen (zie tabel op p.18 v.d. energiebrochure). Hoewel deze resten op veilige manier kunnen verpakt worden, stellen velen zich de vraag of we duizenden toekomstige generaties mogen opzadelen met “ons” radioactief afval.

C) Kernfusie

In toekomstige kernfusiereactoren worden D en T gebruikt. Op p.19 wordt de reactie schematisch weergegeven. Van de totale energie wordt er 14.1MeV gedragen door het neutron en de rest (3.52MeV) door de geladen He^4 -kern. De totale energie die door de reacties wordt opgewekt is dus ongeveer 17.6 MeV.

Hoeveel Joule vertegenwoordigt 1 eV ?

Hoeveel Joule vertegenwoordigt 17.6 MeV ?

Bereken hoeveel brandstof er nodig is om een centrale van 1GW 1s te laten werken.

... kg D en ...kg T nodig per seconde

... kg D en ...kg T nodig per jaar

De neutronen activeren het reactorvat. Door een goede keuze van het wandmateriaal valt de activering terug tot het ongevaarlijke niveau van de (overall aanwezige) achtergrondstraling na 30 tot 100jaar.

Besluiten en aanbevelingen v.d. werkgroep FOSSIELE BRANDSTOFFEN EN KERNENERGIE:
