

Luku 3: Yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotetaan sähköä ja lämpöä

Tehtävien ratkaisut

Tehtävät 1–4 ovat automaattisesti tarkistettavia tehtäviä ja ne ovat digikirjassa.

3-1.

Täydennä.

Ydinenergian yhteydessä puhutaan ***ydinpolttoaineesta***, mutta ydinenergia ei ole peräisin kemiallisesta reaktiosta, kuten ***palamisesta***, vaan raskaiden ytimien ***halkeamisesta*** ydinreaktorissa. Halkeamisessa ytimen ***sidosenergiaa*** vapautuu halkeamistuotteiden liike-energiaksi. Tämä ilmenee reaktorin ***kuumenemisena***. Ydinvoimalaitokset ovat ***lämpövoimalaitoksia*** samoin kuin esimerkiksi kaikki ***fossiilisia*** polttoaineita käyttävät energiantuotantolaitokset.

3-2.

Oikein/väärin väittämät

1. Polttoaineissa on vapaata energiaa. ***Kyllä//Ei***
2. Polttoaineen lämpöarvo on se energiamäärä, joka yhdestä kilogrammasta polttoainetta vapautuu sen palaessa. ***Kyllä//Ei***
3. Uraanista vapautuu massaan sitoutunutta energiaa. ***Kyllä//Ei***
4. Öljy on uusiutuvaa energiaa. ***Kyllä//Ei***
5. Fissio tarkoittaa ytimen halkeamista. ***Kyllä//Ei***
6. Lämpövoimalaitoksissa kemiallista energiaa ja uraanin ytimiin sitoutunutta energiaa voidaan muuntaa sähköksi. ***Kyllä//Ei***
7. Ydinvoimalaitoksissa höyrystetään uraania. ***Kyllä//Ei***

3-3.

Monivalintatehtävä

- a) Yhteistuotantovoimalaitoksessa tuotetaan
 - vain sähköä
 - vain lämpöä
 - **sähköä ja lämpöä.**
- b) Yhteistuotantovoimalaitoksen hyötysuhde on parhaimmillaan
 - noin 40 %
 - alle 70 %
 - suurempi kuin 1
 - **yli 90 %.**
- c) Generaattori
 - kierrättää jäähdytysvettä
 - jäähdyttää korkeapaineisen höyryn matalapaineiseksi
 - **tuottaa sähköä.**
- d) Nykyisissä ydinreaktorissa tapahtuu
 - **fissioita**
 - **ketjureaktioita**
 - fuusioita
 - **ydinreaktioita**
 - **kuumenemista.**

Luku 3: Yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotetaan sähköä ja lämpöä

- e) Ydinjäte
- on radioaktiivista
 - sisältää monia radioaktiivisia aineita
 - on vaaratonta noin 100 vuoden kuluttua
 - koostuu mm. uraanista ja plutoniumista.
- f) Ydinjäte loppusijoitetaan Suomessa
- mereen
 - maan pinnalle suojarakennusten sisälle
 - kallioperään noin 40 metrin syvyyteen
 - kallioperään noin 400 metrin syvyyteen.

3-4.

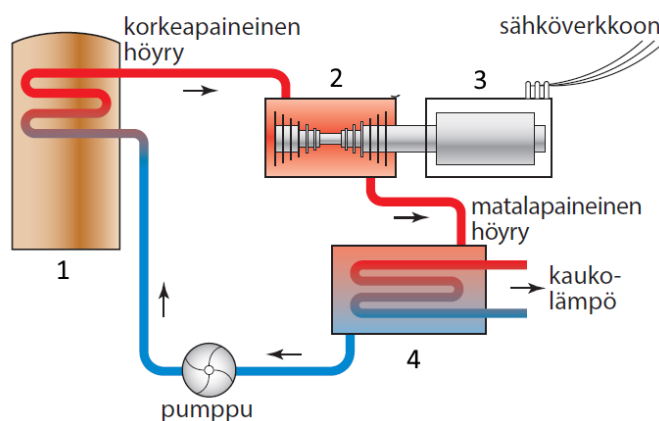
Yhdistä.	
lämpöarvo	MJ/kg
kivihiili	kemiallinen energia
voimalaitosjäte	radioaktiivisuus
ytimen halkeaminen	fissio
ketjureaktio	säätösauvat
yhteistuotantovoimalaitos	sähkö ja lämpö
sähköverkko	korkea jännite

3-5.

- a) Hiiltä, maakaasua, öljyä, turvetta, puuta tai haketta käyttävät voimalaitokset toimivat samalla periaatteella. Näitä voimalaitoksia kutsutaan lämpövoimalaitoksiksi. Myös ydinvoimalaitos on lämpövoimalaitos. Valtaosa voimalaitoksista on lämpövoimalaitoksia.
- b) Lämpövoimalaitosta, joka tuottaa vain sähköä, sanotaan lauhdevoimalaitokseksi. Nimi johtuu siitä, ettei laitoksen tuottamaa lämpöä siirretä kaukolämpöverkkoon vaan se poistetaan lauhduttimessa, jossa on esim. meri- tai järvivettä.
- c) Hyvin usein voimalaitoksissa tuotetaan samanaikaisesti sähköä ja lämpöä. Tällaisia voimalaitoksia kutsutaan yhteistuotantovoimalaitokseksi (vastapainevoimalaitokseksi).

3-6.

- a) Yhteistuotantovoimalaitos

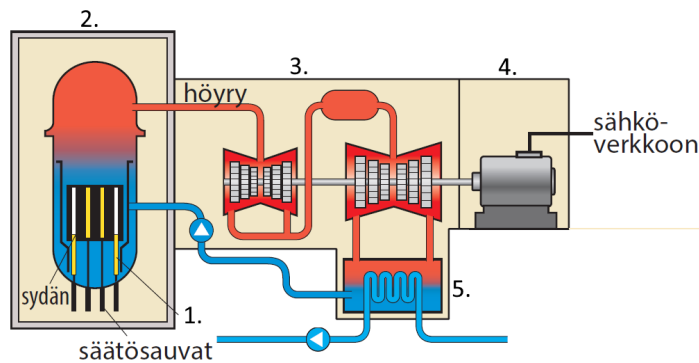


Kuva: Pertti Heikkilä, Cosmograf

Nimettävät osat ovat 1. höyrykattila, 2. turbiini, 3. generaattori ja 4. lauhdutin.

Luku 3: Yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotetaan sähköä ja lämpöä

Ydinvoimalaitos, kiehumusvesireaktori



Kuva: Pertti Heikkilä, Cosmograf

Nimettävät osat ovat 1. uraanisauvat, 2. reaktori, 3. turbiini, 4. generaattori ja 5. lauhdutin.

- b)
- Voimalaitoksessa höyryn tai veden liike-energia muuntuu turbiinissa ja sen akselille rakennetussa generaattorissa pyörimisen energiaksi.
 - Generaattori tuottaa voimalaitoksessa sähköä.
- c)
- Jotta ydinvoimalaitoksen reaktorin lämpötila ei kohoaisi liian korkeaksi, osa fissiossa vapautuneista neutroneista pysäytetään säätösauvoilla, joita on polttoainesauvojen välissä. Kun neutroni osuu säätösauvaan, se pysähtyy, eikä pysty enää halkaisemaan uutta uraaniydintä. Reaktorin toiminta voidaan pysäyttää esimerkiksi huoltamista varten siirtämällä tarpeeksi säätösauvoja polttoainesauvojen väliin niin, että ketjureaktiot pysähtyvät.

3-7.

- Kivihiilivoimalaitoksen ja ydinvoimalaitoksen samankaltaisuuksia ovat seuraavat:
 - Molemmat voimalaitokset ovat lämpövoimalaitoksia.
 - Kummassakin voimalaitoksessa kuuma, korkeapaineinen höyry pyörittää turbiinia, joka on liitetty sähköä tuottavaan generaattoriin.
 - Ydinvoimalaitos on lauhdevoimalaitos, jossa turbiinin jälkeen vapautuvaa hukkaenergiaa ei hyödynnetä, vaan höyry haihdutetaan ilmaan tai se lauhdutetaan lauhdevedellä. Myös kivihiilivoimalaitos voi olla lauhdevoimalaitos.
 - Kumpikin voimalaitos käyttää uusiutumatonta energialähdettä.
- Kivihiilivoimalaitoksen ja ydinvoimalaitoksen eroavaisuuksia ovat seuraavat:
 - Kivihiilivoimalaitoksen energiantuotanto perustuu polttoprosessiin, jossa hyödynnetään kivihiilen kemiallista energiaa. Ydinvoimalaitoksen energia on peräisin uraaniydinten halkeamisesta.
 - Kaikki ydinvoimalaitokset ovat lauhdevoimalaitoksia. Kivihiilivoimalaitokset voivat olla myös vastapainevoimalaitoksia.
 - Kivihiilivoimalaitos tuottaa päästöinä mm. hiilidioksidia ja rikkiyhdisteitä. Toimiva ydinvoimalaitos tuottaa suorina päästöinä ilmakehään vain vesihöyryä. Ydinvoimalaitoksissa tapahtuneet onnettomuudet ovat vapauttaneet luontoon radioaktiivisia aineita.

Luku 3: Yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotetaan sähköä ja lämpöä

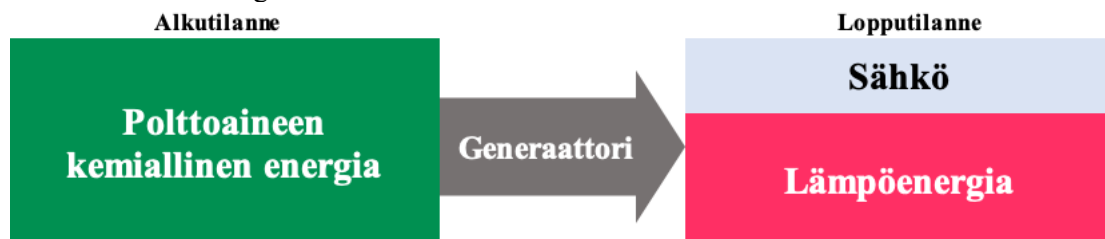
3-8.

- Matala-aktiivinen jäte on huoltojätettä, johon on tarttunut radioaktiivisia aineita. Matala-aktiivista jätettä ovat muun muassa huoltotöissä käytetyt suojamuovit, työkalut, suojavaatteet ja pyyhkeet sekä voimalaitokselta poistetut koneenosat ja putket.
- Oletetaan luokkahuoneen pituudeksi 11 m, leveydeksi 5 m ja korkeudeksi 2,5 m. Tällöin luokkahuoneen tilavuus on $V = abc = 11 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} \approx 140 \text{ m}^3$. Näin ollen vuodessa syntyneet ydinjätteet mahtuisivat yhteen luokkahuoneeseen.

Vanhin Loviisan ydinvoimalaitos on aloittanut toimintansa vuonna 1977 eli ko. yksikkö on ollut toiminnassa reilut 45 vuotta (vuonna 2021). Kaikki syntyneet jätteet mahtuisivat kouluun, jossa on 45 luokkaa.

3-9.

Voimalaitoksen energiakaavio.



Kaaviossa Sähköä kuvaava suorakulmio on korkeudeltaan 40 % Lopputilanne -suorakulmion korkeudesta.

3-10.

- Kivihiilellä on suuri lämpöarvo, se on edullista ja sitä on runsaasti saatavilla. Siksi kivihiili on yksi maapallon eniten käytetyistä energialähteistä. Ennen kaikkea kehittyvät maat käyttävät energiantuotannossaan paljon kivihiiltä. Kivihiilen käyttö alkoi jo 1600-luvulla, ja kivihiili oli ensimmäisen höyrykoneen voimanlähteenä. Kivihiilen hinnan ennustetaan pysyvän vakaana, koska kivihiiltä on paljon saatavilla.
- Hyvässä vastauksessa pitäisi olla seuraavia asioita.
 - Maakaasu on pääasiassa metaania.
 - Maakaasu on syntynyt öljyn tavoin muinaisista eläin- ja kasvijätteistä.
 - Maakaasua esiintyy paljon öljylähteissä, mutta on löydetty myös suuria, pelkästään maakaasua sisältäviä esiintymiä. Nykyisin maakaasua saadaan yhä syvemmltä kehittyneen poraustekniikan ansiosta. Maakaasua saadaan myös vapautettua paremmin uusien teknologioiden (fracking) avulla.
 - Maakaasussa on vähän hiiltä, ja siksi päästöt ovat noin puolet öljyn ja kivihiilen päästöistä. Maakaasun poltossa ei synny hiukkaspäästöjä.
 - Maakaasun lämpöarvo on suurempi kuin esimerkiksi kivihiilen.
 - Maakaasua siirretään putkistoissa, jotka voivat olla maan pinnalla tai meren pohjassa, mutta myös nesteytettynä säiliöautoilla tai vesitse tankkereilla.
 - Maakaasua käytetään mm. sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, mutta myös autojen polttoaineena bensiinin tilalla sekä kotien kaasuliesissä (Helsingin keskustan alueella).
 - Maakaasun osuus Suomen energiankulutuksesta on noin 8 %. Maakaasun, kuten muidenkin fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään vähentämään, toisaalta Aasiassa maakaasua käytetään enenevissä määrin sekä teollisuuden, energiantuotannon että liikenteen polttoaineena.

Luku 3: Yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotetaan sähköä ja lämpöä

3-11.

Fissio on ydinreaktio, jossa raskas ydin halkeaa kahdeksi keskiraskaaksi ytimeksi ja samalla vapautuu neutroneja. Fissiossa vapautuu energiaa, joka ilmenee fissiotuotteiden liike-energiana.

Piirroksessa esitetään uraani-235:n fissio Ba-141:ksi ja Kr-92:ksi sekä kolmeksi neutroniksi.

Kuva: Vanha FY7 s. 118

Ydinreaktorissa uraaniytimien fissiot tapahtuvat ketjureaktioina eli fissioissa vapautuneet neutronit saavat aikaan uusia fissioita. Ketjureaktion synty vaatii, että uraaniytimiä on riittävä määrä eli uraanimäärä ylittää ns. kriittisen koon.

Fuusio on ydinreaktio, jossa kahdesta kevyestä ytimestä syntyy yksi raskaampi ydin. Fuusiossa vapautuu energiaa.

3-12.

- Ihminen saa säteilyä esimerkiksi sisäilman radonista, rakennusmateriaaleista, avaruudesta ja ravinnoista.
- Säteilyn vaikutuksiin ihmisessä vaikuttavat mm. säteilyn altistustapa, altistusaika ja säteilyn määrä.
- Säteilyltä voi suojautua ottamalla etäisyyttä säteilylähteeseen, vähentämällä säteilylähteen vaikutusaikaa ja lisäämällä riittävä määrä materiaa (esimerkiksi lyijylevy) säteilylähteen ja ihmisen väliin. Edellä mainituilla keinoilla voi myös pienentää säteilyn vaikutusta.
- Ydinjätteen loppusijoitus tarkoittaa sitä, että voimalaitosjäte sijoitetaan niin, loppusijoituksesta ei aiheudu nyt eikä tulevaisuudessa ihmisen terveyttä vaarantavia säteilyhaittoja eikä muutenkaan vahinkoa ympäristölle ja omaisuudelle. Loppusijoitustilan pitää kestää maan päällä kaikki ihmisen toiminta ja luonnonmullistukset.
- Käytetty ydinpolttoaine sijoitetaan kapseliin, jonka sisäosa on valurautaa ja ulkokuori kuparia. Kapseli suljetaan ja sijoitetaan yli 400 m syvyyteen peruskallioon louhittuun loppusijoitustilaan. Lopuksi loppusijoitustila suljetaan.

3-13.

- Kivihiiltä käytetään energiantuotannossa, koska sitä on runsaasti saatavilla, se on halpaa ja sitä riittää energialähteeksi vielä vuosikymmeniä. Kivihiilen lämpöarvo on suuri, suurempi kuin esimerkiksi puupolttoaineiden. Kivihiiltä käyttävien lämpövoimalaitosten rakentamiskustannukset ovat myös kohtuulliset; kivihiiltä voidaan käyttää niin vanhoissa kuin uusissakin voimalaitoksissa.

Kivihiilivoimalaitosten haittoja ovat suuret rikki-, hiilidioksidi- ja typpioksidipäästöt, lisäksi kivihiili on polttoaineista epäpuhtaimpia. Päästöt aiheuttavat ilmakehän lämpenemistä, maaperän ja vesistöjen happamoitumista sekä terveydellisiä haittoja. Kivihiili tulee myös loppumaan jossakin vaiheessa. Kaivostoiminta aiheuttaa myös ympäristökuormaa.

- Ydinvoimalaitoksilla voidaan tuottaa suuri määrä suhteellisen edullista energiaa ilman suoria kasvihuonekaasupäästöjä. Ainoa päästö, jonka ydinvoimala toimiessaan tuottaa, on lämmin vesi, joka lämmittää vesistöjä tai vesihöyry, joka kohoaa ilmakehään. Vesihöyry on kasvihuonekaasu. Toisaalta vesihöyry pilvimuodostelmina heijastaa Auringon säteilyä takaisin avaruuteen, joten vesihöyryllä voi olla myös ilmakehää viilentävä vaikutus.

Ydinvoimalaitosten käytetyn polttoaineen varastointi on haastavaa. Radioaktiiviset jätteet pitää varastoida syvälle maaperään hyvin pitkiksi ajoiksi. Ydinvoimalaitoksen rakentamiskustannukset ovat suuret. Myös ydinpolttoaineen louhimiseen liittyy riskitekijöitä. Ydinvoimalaitoksen haittoihin kuuluu myös onnettomuuksien riski. Onnettomuuden tapahtuessa reaktorista voi päästä ympäristöön radioaktiivisia aineita, joilla on terveydellisiä vaikutuksia ihmisiin ja haittavaikutuksia luontoon. Ydinsäteily aiheuttaa perimän muutoksia ja lisää syövän riskiä.

Ydinvoiman käyttöön ja säteilyyn liittyviä suuruusluokkia on hankala ymmärtää ilman fysiikan osaamista. Siksi aiheeseen liittyvä keskustelu on usein väritetty mielipiteillä (faktojen asemesta).

Luku 3: Yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotetaan sähköä ja lämpöä

3-14.

- a) Kaukolämpö on lämmitysmuoto, jota tuotetaan paikallisesti lähellä asiakasta ja toimitetaan kaukolämpöverkossa kiertävän kuumen veden avulla. Kaukolämpöä käytetään rakennusten lämmitykseen ja käyttöveden lämmittämiseen. Kaukolämpö on erityisesti kaupunkien ja taajamien lämmitysmuoto.
- b) Vuonna 2018 kaukolämmössä eniten käytetty energialähde oli kivihiihi.

3-15.

- a) Suomessa toimivien
 - i. yhteistuotantovoimalaitosten sähköteho ovat 150 MW–650 MW ja
 - ii. ydinvoimalaitosten sähkötehot ovat noin 500 MW–1600 MW.
- b) Suomen sähköjärjestelmän kantaverkon jännitteet ovat kilovolttien suuruusluokkaa: 400 kV, 220 kV tai 110 kV. Jännitteet ovat suuria, koska siirtojohtimien tehohäviöt ovat sitä pienempiä mitä suurempi on energiansiirrossa käytetty jännite.
- c) Kotitalouksissa olevien pistorasioiden jännite on 230 V.

3-16.

Seuraavassa on joitakin ajatuksia hyvään mallivastaukseen liittyen.

Pitkäkestoinen sähkökatkos vaarantaisi yhteiskunnan turvallisuuden ja elintärkeät toiminnot. Kun sähköt katkeavat,

- valot sammuvat ja sähkölämmitys ei toimi
- liikenne hankaloituu, koska bensiiniä ei voi tankata ja sähköautoja ladata
- käyttöveden saanti hankaloituu, koska hanasta ei tule vettä
- pankkien toiminta lamaantuu, koska maksuliikenne pysähtyy
- puhelinverkon toiminta lakkaa, koska operaattoreiden tukiasemien varavirtajärjestelmät pysyvät toiminnassa vain muutamia tunteja
- avun pyytäminen on ongelmallista, koska puheluja kuten hätäpuheluja ei voi soittaa eikä viestejä lähettää
- kodeissa jääkaapit ja pakastimet eivät toimisi, joten elintarvikkeiden säilyttäminen vaikeutuisi
- ruoan valmistus olisi hankalaa
- valaistus olisi korvattava esimerkiksi kynttilöillä
- talojen lämmitys olisi ongelmallista varsinkin talvikaudella.

3-17.

- a) Maakaasun lämpöarvo on 46 MJ/kg ja turpeen 11 MJ/kg. Koska maakaasun lämpöarvo on suurempi kuin turpeen ja aineita on yhtä paljon, maakaasusta saadaan enemmän energiaa.

Lämpöarvojen suhde on $\frac{46 \text{ MJ/kg}}{11 \text{ MJ/kg}} \approx 4,2$. Näin ollen samasta määrästä maakaasua saadaan 4,2

kertaa enemmän energiaa kuin turpeesta.

- b) Polttoaineesta poltettaessa vapautuva energia lasketaan yhtälöstä $Q = Hm$, jossa H on polttoaineen lämpöarvo ja m poltettavan aineen massa.

Energiaa vapautuu $Q = Hm = 19 \text{ MJ/kg} \cdot 9,5 \text{ kg} \approx 180 \text{ MJ}$.

3-18.

$E = 48 \text{ kWh}$, $H = 18 \text{ MJ/kg}$, $\eta = 0,80$

- a) Muutetaan energian 48 kWh yksiköksi joule. Koska $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$, on $48 \text{ kWh} = 48 \cdot 3,6 \text{ MJ} = 172,8 \text{ MJ}$.

Koska palaminen on täydellistä, puista vapautuva energia on $Q = Hm$, joten tarvittavien koivupuiden

massa on $m = \frac{Q}{H} = \frac{172,8 \text{ MJ}}{18 \text{ MJ/kg}} = 9,6 \text{ kg}$.

Luku 3: Yhteistuotantovoimalaitoksissa tuotetaan sähköä ja lämpöä

- b) Hyötysuhteen yhtälöstä $\eta = \frac{Q_{\text{tuotto}}}{Q_{\text{otto}}}$ saadaan takan puista ottamaksi energiaksi

$$Q_{\text{otto}} = \frac{Q_{\text{tuotto}}}{\eta} = \frac{172,8 \text{ MJ}}{0,80} = 216 \text{ MJ}.$$

Puista vapautuva energia on $Q_{\text{otto}} = Hm$, joten tarvittavien koivupuun massa on

$$m = \frac{Q_{\text{otto}}}{H} = \frac{216 \text{ MJ}}{18 \text{ MJ/kg}} = 12 \text{ kg}.$$

3-19.

$P_{\text{tuotto}} = 565 \text{ MW}$, $\eta = 0,44$, $H = 31 \text{ MJ/kg}$

- a) Voimalaitoksen vuorokaudessa tuottama energia on

$$E_{\text{tuotto}} = P_{\text{tuotto}} \cdot t = 565 \text{ MW} \cdot 24 \text{ h} = 13\,560 \text{ MWh}$$

Voimalaitos ottaa tarvitsemansa energian kivihiilestä, joten $E_{\text{otto}} = Hm$, jossa H on kivihiilen lämpöarvo.

Hyötysuhteen yhtälöstä $\eta = \frac{E_{\text{tuotto}}}{E_{\text{otto}}}$ saadaan $\eta E_{\text{otto}} = E_{\text{tuotto}}$ eli $\eta Hm = E_{\text{tuotto}}$.

Vuorokaudessa kulutetun kivihiilen massaksi saadaan

$$m = \frac{E_{\text{tuotto}}}{\eta H} = \frac{13\,560 \text{ MWh}}{0,44 \cdot 31 \text{ MJ/kg}} = \frac{13\,560 \text{ MW} \cdot 3600 \text{ s}}{0,44 \cdot 31 \text{ MJ/kg}} \\ = 3\,578\,886 \text{ kg} \approx 3,6 \cdot 10^6 \text{ kg} = 3600 \text{ t}.$$

- b) Rekka-autoja tarvittaisiin vuorokaudessa $\frac{3\,578,886 \text{ t}}{40 \text{ t}} \approx 90$.
- c) Koska kivihiilivoimalaitoksen nettoteho on 565 MW ja tuulivoimalaitoksen $3,5 \text{ MW}$, tuulivoimalaitoksia tarvittaisiin $\frac{565 \text{ MW}}{3,5 \text{ MW}} \approx 160$.