

Inlämningsuppgift 3: Hållbara energi- och transportsystem *Grupp 2 - Bioenergi*

INTRODUKTION: Världen står inför enorma utmaningar när det gäller klimatförändringarna och energisäkerhet till följd av ökande efterfrågan och sinande oljereserver. I den här uppgiften ska ni fördjupa er i en koldioxidneutral energikälla genom att göra beräkningar och diskutera kring olika aspekter. De tekniker som respektive smågrupp kommer att fördjupa sig i för den här uppgiften är vindturbiner, solceller, bioenergi och kärnkraft.

Uppgiften syftar till att bidra till följande lärandemål för kursen:

- Att kunna beskriva vilka klimatneutrala energitillförselsystem som står till buds idag för att lösa framtidens energiefterfrågan och klimatmål och redogöra för storleksordningarna på dess potentialer
- Att kunna argumentera för de viktigaste för- och nackdelarna med olika klimatneutrala tekniker och deras kritiska begränsningar.
- Att kunna beskriva hur kostnaden för energi påverkas av valet av energikälla.

LITTERATUR: Läs kurslitteraturen som hör ihop med er teknik extra noggrant och leta även gärna efter egen information. Var dock noga med att ange källor för den information ni använder.

OMFATTNING: Tidsmässigt motsvarar denna inlämningsuppgift en arbetsinsats på cirka 20 timmar/person (0,75 hp).

INLÄMNING: Inlämning av svarsrapport ska ske via kurshemsidans funktion för inlämningsuppgifter senast tisdag 2017-05-02 kl 20:00 (dvs, några timmar efter fördjupningstillfället för denna inlämningsuppgift).

BEDÖMNINGSGRUNDER FÖR GODKÄNT & POÄNGSÄTTNING: För att bli godkänd på denna inlämningsuppgift krävs att man besvarat samtliga delfrågor och att man får minst 10 poäng (av maximalt 20) på uppgiften. Poängsättning görs utifrån följande kriterier:

- *Fullständighet och genomförande enligt instruktion* – är hela frågan korrekt besvarad? Är relevanta uppgifter inkluderade?
- *Beräkningar*, är beräkningarna korrekta och noggrant redovisade? Används rätt enheter? Redogörs det för vilka antaganden som gjorts?
- *Resonemang, argumentation och redogörelse* – är de argument som används relevanta, av vikt, och adekvata? Är resonemanget transparent och lätt att följa? Är språket klart och texten begriplig? Finns rena missuppfattningar eller felaktiga påståenden?
- *Förankring i och förhållningssätt till källor* – används ett kritiskt och självständigt förhållningssätt till den förmedlade informationen? Görs relevanta hänvisningar till litteratur och/eller föreläsningar? Visar studenten att den tillgodogjort sig innehållet i kursen?

Bioenergi

Biomassa står för ungefär 10% av världens totala försörjning av primärenergi. Det mesta av detta används i utvecklingsländer för matlagning och uppvärmning. Inom elsektorn står

bioenergi endast för ungefär 1,5% av produktionen, men dess andel växer kontinuerligt. Idag används framförallt biomassa i form av t.ex. restprodukter från skogsbruk och industri som bränsle vid elproduktion. Om el från bioenergi ska få en betydande roll i framtidens energisystem måste man dock avsätta mark specifikt för biomassa dedikerad till direkt användning vid elproduktion. Det finns även en växande marknad för biobränslen inom transportsektorn, i form av etanol och biodiesel.

Som representanter för bioenergi-industrin har ni blivit kontaktade av presidenten för ett litet europeiskt land som överväger att ställa om sitt energisystem från kol och olja till fossilfri energi. Presidenten är ganska väl insatt i de olika teknologierna så det handlar om att ge en balanserad bild av för- och nackdelar och vässa argumenten. Inte minst kommer presidenten att vara intresserad av kostnaderna för er teknologi (jämfört med priset för fossil energi), hur stor yta som behövs för att tillgodose landets energibehov, samt vilken kritik medborgare i landet kan tänkas rikta mot er teknologi. Ni kommer också att behöva sätta er in i era konkurrenters teknologier (vindkraft, solenergi och kärnkraft) för att kunna ifrågasätta felaktiga påståenden och peka på risker.

Under ett möte med presidenten (fördjupningstillfället) kommer ni ges möjlighet att presentera argumenten för er teknologi i cirka 10 minuter, därefter har presidenten och representanterna för de andra teknologierna möjlighet att ställa frågor i 5 minuter. Efter alla industrier har presenterat fortsätter mötet med en frågestund och därefter fattar presidenten beslut kring vilken teknologi (eller vilken mix av teknologier) han/hon kommer att investera i.

1. Utsläpp från förändrad markanvändning

Bioenergi beskrivs ofta som en koldioxidneutral energikälla eftersom kolet som frigörs i form av koldioxid vid förbränning har sitt ursprung i atmosfären. Biomassan binder koldioxid från atmosfären genom fotosyntesen när den växer. Kolet kan alltså sägas ingå i ett slutet kretslopp. Trots detta är de flesta former av bioenergi i själva verket inte helt och hållet koldioxidneutrala. Två former av bioenergi som blivit särskilt kritiserade är bioetanol gjort på spannmål och biodiesel gjort på raps.

- a) Nämn två generella förutsättningar som måste vara uppfyllda för att ett bioenergisystem ska kunna räknas som koldioxid neutralt. **(1p)**

- b) Antag att tropisk skog, med ett kolinnehåll på 197 tC/ha avverkas för att ge plats åt sojaodling för biodieselproduktion. Sojaodlingen ger även upphov till biprodukter, som kan användas som djurfoder. Antag att 40% av utsläppen från skogsavverkningen allokeras till oljan, och resten till biprodukterna. (Fördelningen baseras på deras marknadsvärden.) Biodieseln betalar av på sin utsläppsskuld genom att ersätta fossil diesel och därmed minska utsläppen från bilkörning. Diesel har ett kolinnehåll på ca 19 gC/MJ. Fossila koldioxidutsläpp från utvinning, raffinering och transporter vid framställning av fossil diesel uppgår till ca 3 gC/MJ. Antag att man kan producera 350 liter biodiesel/(ha*år), utan tillförsel av fossil energi. Diesel har ett energiinnehåll på 35 MJ/l. Hur många år tar det då innan bioenergisystemet blir koldioxid neutralt? **(1p)**

2. Effektivitet

Förnybara energikällor kan räcka under en praktiskt taget obegränsad tidsrymd. En begränsning däremot som kan ha stor betydelse i valet mellan olika förnybara energislag är att de kräver relativt stora markytor. En viktig indikator för förnybara energikällor är därför hur mycket energi, eller effekt (d.v.s. energi per tidsenhet), som i genomsnitt går att få ut per ytenhet från olika energikällor. I denna uppgift ska ni därför uppskatta "effektiviteten"

(uttryckt i W/m² mark- eller vattenyta) som kan fås från bioenergi, då den används för elproduktion. Räkna med en verkningsgrad (från termisk till elektrisk energi) på 30%.

- Salix (sälg, vide och pil) är ett etablerat biobränsle i Sverige. Flis från salix kan eldas för att ge värme och el. Salix har en snabb omloppstid och kan kalavverkas redan efter 3-5 år.
- Brasilien är världsledande i storskalig eukalyptusodling ämnat för produktion av bioenergi. Eukalyptus växer snabbt och har en rotationstid på 6 år.

Under odling av både salix och eukalyptus går det åt en del energi, framför allt för produktion av handelsgödsel och i form av bränsle för att driva traktorer och andra maskiner. Antag att en del av salixen/eukalyptusen används för att täcka sina egna energibehov vid odlingen. Energinbehovet är angivet i mängd råbiomassa.

	<i>Salix, Sverige</i>	<i>Eukalyptus, Brasilien</i>
Skördenivå	<i>8 ton torrsubstans/(ha*år)</i>	<i>20 ton torrsubstans/(ha*år)</i>
Energiinnehåll, torrt	<i>19 GJ/ton torrsubstans</i>	<i>15 GJ/ton torrsubstans</i>
Energibehov vid odling	<i>10 GJ råbiomassa/(ha*år)</i>	<i>10 GJ råbiomassa/(ha*år)</i>

- Hur hög är effekttätheten för el producerad med bioenergi, när biomassan kommer från salix i Sverige, respektive eukalyptus i Brasilien? **(2p)**
- Hur stor area skulle krävas för att tillgodose hela Sveriges elbehov med bioenergi i de två olika fallen (ca 130 TWh/år)? Hur stor andel av Sveriges yta är det? (Totalt 450 000 km²) **(1p)**

3. Ekonomisk potential, elproduktion

På vissa ställen i världen, som Kina och Indien, produceras i dagsläget el från biomassa med väldigt låga kostnader, medan det på andra stället, som Europa och Nordamerika, är lite dyrare. Kostnaderna varierar kraftigt beroende på tillgången till råmaterial som utgör en viktig del av kostnaden. Kraftverk som eldar biomassa är generellt sett mindre än kolkraftverk, typiskt endast en tiondel så stora (mellan 1 och 100 MW). Anledningen är att det låga energiinnehållet i biomassa gör att transportkostnaderna blir väldigt höga. Därför gör man ofta inte kraftverken större än att de kan eldas med lokalt producerad biomassa. Därmed blir verkningsgraden från termisk till elektrisk energi också lägre.

Den generella formeln för att räkna ut vad det kostar att producera el från ett kraftverk (per kWh) är

$$\text{Kostnad} = \frac{IK * AF + D\&U}{8760 \frac{h}{\text{år}} * KF} + \frac{BK}{\eta} * 3,6 * 10^{-3} \text{ GJ/kWH}$$

IK: Investeringskostnad, [SEK/kW]

D&U: Drift och underhåll [SEK/kW/år]

AF: Annuitetsfaktorn [år⁻¹]. Andelen av investeringskostnaden som man behöver betala varje år för att täcka ränta och amortering på lånet. Formeln för annuitetsfaktorn är

$$AF = \frac{r}{1 - \frac{1}{(1+r)^T}}$$

- r : ränta på lånet
 T : kraftverkets ekonomiska livslängd, uttryckt i år
 KF : kraftverkets kapacitetsfaktor, hur stor andel av tiden på full effekt som kraftverkets elproduktion motsvarar
 BK : bränslekostnad, uttryckt i SEK/GJ (termisk energi)
 η : verkningsgrad (mängden elektrisk energi som kraftverket generera per energienhet i bränslet)

- a) Vad kostar el från biokraftverk om investeringskostnaden är 33000 SEK/kW, bränslet kostar 31 SEK/GJ, kapacitetsfaktorn är 85% och verkningsgraden (från termisk till elektrisk energi) är 30%? Räkna även med en kostnad för drift och underhåll på 670 SEK/kW/år. (Lägg till den årliga kostnaden för drift och underhåll till den årliga avbetalningen på investeringskostnaden.) Antag att räntan är 7,5% och att den ekonomiska livslängden är 20 år. Jämför med vad du betalar för din el hemma. (Eller kolla upp priset hos något av energibolagen.) **(2p)**
- b) Hur högt skulle priset på utsläpp av koldioxid behöva vara för att el producerad med biomassa skulle bli billigare än kolkraft? (Svara i SEK/ton CO₂.) Bränslet kol har ett C-innehåll av 25 gC/MJ. Vid förbränning bildar varje C-atom en CO₂-molekyl. Antag att kapacitetsfaktorn för kolkraftverket är 80%, verkningsgraden från termisk till elektrisk energi är 40%, investeringskostnaden är 20 100 SEK/kW och bränslekostnaden är 28 SEK/GJ. Räkna också med en kostnad på 615 SEK/kW/år för drift och underhåll. Antag åter igen en ränta på 7,5% och en ekonomisk livslängd på kolkraftverket på 40 år. **(3p)**

4. Koldioxidutsläpp från bilar

Biobränslen är som sagt sällan helt klimatneutrala, eftersom fossila bränslen ofta används vid odling, skörd och i produktionsprocessen då biomassan omvandlas till biobränslen. Fossila bränslen används också vid transporter från odlingsplats och till slutanvändare. Dessutom orsakar odlingen av energigrödor utsläpp av andra växthusgaser – framförallt lustgas (N₂O) – och dess utbredning kan även leda till avskogning som i sig skapar utsläpp. För många biodrivmedel är dock de totala direkta utsläppen klart mindre än motsvarande utsläpp från bensin och diesel.

Med hjälp av de antaganden och indata som anges nedan, beräkna hur stora de direkta utsläppen blir per energienhet (g CO₂/MJ) för:

- Svensk etanol producerad från vete
- Brasiliansk etanol från sockerrör

Jämför värdena med bensin som släpper ut ca 81 gCO₂/MJ.

För biobränslena kommer utsläppen från fyra olika steg: Odling/skörd, transport av råbiomassa från odlingen till etanolfabriken, själv etanolproduktionen i fabriken och transport av den färdiga etanolen från fabrik till pump. Börja med att räkna ut utsläppen från dessa fyra steg, *var och en för sig*, och fyll i tabellen i slutet av uppgiften. Lägg därefter samman dessa fyra delar för att få de totala utsläppen för veteetanol. Som hjälp på traven är svaren för det brasilianska fallet redan ifyllda i tabellen sist i uppgiften. Ni behöver alltså bara fylla i svaren för det svenska fallet.

(5p)

Odling/skörd:

Lösningstips: Börja med att räkna ut hur många GJ etanol man kan producera per ha och år.

	Svensk etanol från vete	Brasiliansk etanol från Sockerrör
Avkastning (Mg torrsubstans/(ha*år))	5,0	22,0
Energiinnehåll i biomassan (GJ/Mg torrsubstans)	18,5	17,5
Verkningsgrad i etanolprocessen (GJ etanol/GJ torrsubstans)	50%	40%

Beräkna därefter hur stora utsläppen blir från odling/skörd per MJ etanol. Energiåtgången vid odlingen och skörd tillgodoses med diesel med utsläpp på 84 gCO₂/MJ.

	Svensk etanol från vete	Brasiliansk etanol från Sockerrör
Energiåtgång vid odling & skörd (GJ/(ha*år))	10	5,0

Transport av råbiomassa till etanolfabrik:

Avståndet mellan odling och etanolfabriken antas vara 50 km, både i det svenska och brasilianska fallet. Både vete och sockerrör transporteras till fabriken med lastbil. Bränsleförbrukning: 1,3 MJ/(ton*km). Bränslet orsakar utsläpp på 84 gCO₂/MJ bränsle. Här får man ta med i beräkningen att biomassan inte bara består av torrsubstans när den transporteras till etanolfabriken.

Lösningstips: Börja med att räkna ut hur stora utsläpp man får av att transportera ett ton *fuktig* råbiomassa. Sedan hur många MJ etanol man kan få från ett ton *fuktig* råbiomassa.

	Svensk etanol från vete	Brasiliansk etanol från Sockerrör
Andel torrsubstans i biomassan	80%	30%

Etanolfabrik:

För etanolprocessen kan en del av energiåtgången tillgodoses internt från biprodukter. Den övriga energiåtgången sker med fossila bränslen som orsakar utsläpp på 84 gCO₂/MJ. Tips: börja med att räkna ut hur stora utsläppen blir per m³ etanol. Räkna sedan ut hur stora utsläppen blir per MJ etanol. Energiinnehållet i etanol är 23,5 GJ/m³.

	Svensk etanol från vete	Brasiliansk etanol från Sockerrör
Energiåtgång i etanolprocessen (GJ/m ³ etanol)	12,5	12,5
Andel av energiåtgången i etanolprocessen som kan tillgodoses internt från biprodukter	50%	80%

Transport av etanol från fabrik till pump:

Avståndet mellan etanolfabriken och tankstationen antas vara 250 km för den svenska etanolen och 10 000 km för den brasilianska (i det fallet då den konsumeras i Sverige). Svensk etanol transporteras med tåg och lastbil. Medelbränsleförbrukning: 0,7 MJ/(ton*km). Brasiliansk etanol transporteras med båt och lastbil. Medelbränsleförbrukning: 0,2 MJ/(ton*km). Antag även här att transporten sker med fossila bränslen som släpper ut 84 gCO₂/MJ. Etanols densitet är 0,79 Mg/m³ och energiinnehållet i etanol är 23,5 GJ/m³.

Fyll i alla delresultat, och totalsumman här:

Produktionsled	Veteetanol Sverige (g CO ₂ /MJ)	Sockerrörsetanol Brasilien (g CO ₂ /MJ)
Odling/skörd		2,7 g CO ₂ /MJ
Transport av råbiomassa till etanolfabrik		2,5 g CO ₂ /MJ
Etanolfabrik		9,0 g CO ₂ /MJ
Transport av etanol från fabrik till pump		5,4 g CO ₂ /MJ
TOTALT		20 g CO ₂ /MJ

Som jämförelse ger förbränning av bensin utsläpp på ca 81 g CO₂/MJ.

5. Begränsningar

- Vid en storskalig expansion av bioenergi skulle detta kunna konkurrera med andra viktiga användningsområden för land. Ge exempel på två potentiella negativa konsekvenser som utbredd bioenergiproduktion skulle kunna orsaka. **(1p)**
- Ge två exempel på sätt att producera bioenergi (kan inkludera "framtida" tekniker som ännu inte är kommersialiserade) som inte konkurrerar med annan användning av land. **(1p)**

6. Sammanfattning – för och nackdelar av de olika konkurrerande teknologierna

Sammanfatta kort (gärna i en tabell) det ni anser vara de viktigaste för och nackdelarna med både er teknologi (bioenergi) samt de som era konkurrenter representerar (vindkraft, solenergi och kärnkraft). **(3p)**

INFÖR FÖRDJUPNINGSTILLFÄLLET: Förbered en kort muntlig presentation av er teknik (10 minuter) för presidenten och era konkurrenter. I presentationen skall ni berätta vilken framtida potential ni tror att er teknik har. Basera detta på vilka resurser som krävs och tillgången på dem, kostnader för elproduktion med er teknik, risker med tekniken, samt andra fördelar och nackdelar som ni tycker är viktiga. Meningen är inte att ni skall redovisa era beräkningar under presentationen, men ni får gärna visa resultat från dem för att stärka era argument.