



Foto: Elkem (www.silicon.elkem.com)

Emne TIØ 4126 Optimering og beslutningsstøtte

Miniprojekt våren 2020

Utlevering: Onsdag 12.02
Veiledning: uke 8 i forelesningstimene (18.02 & 19.02)
uke 8 i øvingstimen (17.02)
Innlevering: fredag 21.02, kl 23:59 (På BlackBoard)

Husk at denne oppgaven er obligatorisk. Oppgaven er en del av øvingsopplegget, og kan gi maksimalt 10 poeng. Alle må ha minimum 3 poeng for å få godkjent oppgaven.

Oppgaven kan løses i samarbeid i grupper på opp til tre studenter. Om man er i øvingsgruppe alene kan man allikevel samarbeide med andre som er i øvingsgruppe alene, så lenge alle leverer individuelt i øvingsgruppene (på BlackBoard). Skriv tydelig øverst i innleveringen hvem du har samarbeidet med.

Verdikjeden i caset består av tre ledd: råvareleverandører, produsent og kunder, samt transport mellom disse. Caset er basert på et virkelig verdikjedeproblem¹. Ved å ta hensyn til alle leddene i kjeden kan bedrifter oppnå en bedre helhetstenkning. Din oppgave blir å bruke Excel og Solver add-in til å finne verdikjedeflyten som minimerer kostnadene for produsenten. Oppgaven skal

¹ Se Ulstein et.al. *Elkem Uses Optimization in Redesigning Its Supply Chain*, Interfaces Vol. 36, No. 4, July–August 2006, pp. 314–325

løses stegvis, og til slutt vil modellen gi et realistisk bilde av situasjonen til bedriften dere skal analysere.

Elkem er en norsk produsent av silisium og ferrosilisium med flere produksjonsanlegg i Norge og kunder i inn- og utland. Du har akkurat avsluttet siv.ing.-studiet i Trondheim og er ansatt som logistikkmedarbeider i Elkem. Logistikksjefen vet at du har studert optimering og beslutningsstøtte, og trenger sårt noen tips.

Elkem har seks produksjonsanlegg i Norge (Salten, Meråker, Thamshavn, Bremanger, Bjølvfossen og Fiskaa). Disse kan produsere enten silisium og/eller ferrosilisium. De ulike anleggene har forskjellig prosesseringskapasitet og kostnader. Råvarene og energi til prosessen utgjør det meste av produksjonskostnadene.

Anleggene ble oppført på forskjellige tidspunkt, og på grunn av forskjeller i tilgjengelig teknologi da de ble bygget, varierer virkningsgraden mellom dem. Dette gjenspeiles i parameteren produksjonseffektivitet, som angir hvilken mengde ferdig produkt som kan produseres pr enhet råvare. I tillegg er enkelte produkter mer krevende å produsere enn andre, og bruker derfor mer kapasitet. Dette gjenspeiles i parameteren kapasitetsutnyttelse, som angir hvor stor del av kapasiteten ved anlegget som kan utnyttes ved produksjon av et gitt produkt. For eksempel har produktet Ferrosilisium en kapasitetsutnyttelse på 0.85 (se tabell 1), noe som betyr at det ved fabrikk Salten kan produseres maks $0.85 * 40\,000 = 34\,000$ tonn Ferrosilisium per år. Produktet Silisium har 1 i kapasitetsutnyttelse, og det kan derfor produseres maks 40 000 tonn Silisium. En alternativ formulering er å oppgi potensiell kapasitet for hvert produkt.

Hvis det er produksjon ved et anlegg, påløper bemanning og andre faste kostnader. Den faste kostnaden ved et enkelt anlegg er lik enten det produseres silisium, ferrosilisium, eller begge produktene, men kostnadene varierer fra anlegg til anlegg. Vi ser på en periode hvor det kan velges om det skal være drift eller ikke ved hvert enkelt produksjonsanlegg. Informasjon om de ulike anleggene er beskrevet nærmere i tabell 1 og 2. Elkem har langsiktige take-or-pay-kontrakter på energi som innebærer at de må betale for energien enten de velger å benytte den eller ikke. Logistikksjefen anser det som urealistisk at de klarer å reforhandle disse kontraktene innen overskuelig tid.

Oppgave 1

Vi ser først på et tilfelle med bare en underleverandør av innsatsfaktoren kvarts, den spanske leverandøren Cuarzo España. Prisen på kvarts fra Spania er 1000kr/tonn. Du går gjennom tekniske spesifikasjoner og historiske produksjonsdata og sammenstiller informasjonen i en tabell. Mengden silisium og ferrosilisium som kan produseres fra et tonn kvarts er gitt i tabellen nedenfor.

Du kan anta at tilgangen på kvarts ikke er begrensende.

	Sted	Produksjonseffektivitet [andel]		Kapasitetsutnyttelse [prosent]		Andre kostnader [kr/tonn]		Potensiell kapasitet [1000 tonn/år]	Fast kostnad [1000 kr/år]
		Silisiu m	Ferrosi lisium	Silisiu m	Ferro silisiu m	Silisi um	Ferro silisiu m		
1	Salten	0,15	0,14	100	85	450	500	40	85 000
2	Meråker	0,13	0,13	100	85	500	550	30	150 000
3	Thamshavn	0,14	0,12	100	85	400	440	17	50 000
4	Bremanger	0,13	0,12	100	85	400	500	20	85 000
5	Bjølvefossen	0,12	0,11	100	85	500	600	15	100 000
6	Fiskaa	0,11	0,1	100	85	500	540	18	40 000

Tabell 1 Informasjon om Elkems fabrikker i Norge.

Kvarts transporteres til Elkems seks anlegg med skip fra Spania. Avhengig av geografisk plassering i Norge og fasiliteter ved havneanløpene er det knyttet forskjellig kostnader til denne transporten. Du henter inn data fra de erfarne medarbeiderne i logistikkavdelingen som hjelper deg med å fylle ut kostnadene som er beskrevet i tabell 2.

	Sted	Råvarekostnad [kr/tonn]	Transportkostnad [kr/tonn] Kvarts fra Cuarzo España til Elkem
1	Salten	1000	400
2	Meråker	1000	500
3	Thamshavn	1000	250
4	Bremanger	1000	250
5	Bjølvefossen	1000	200
6	Fiskaa	1000	200

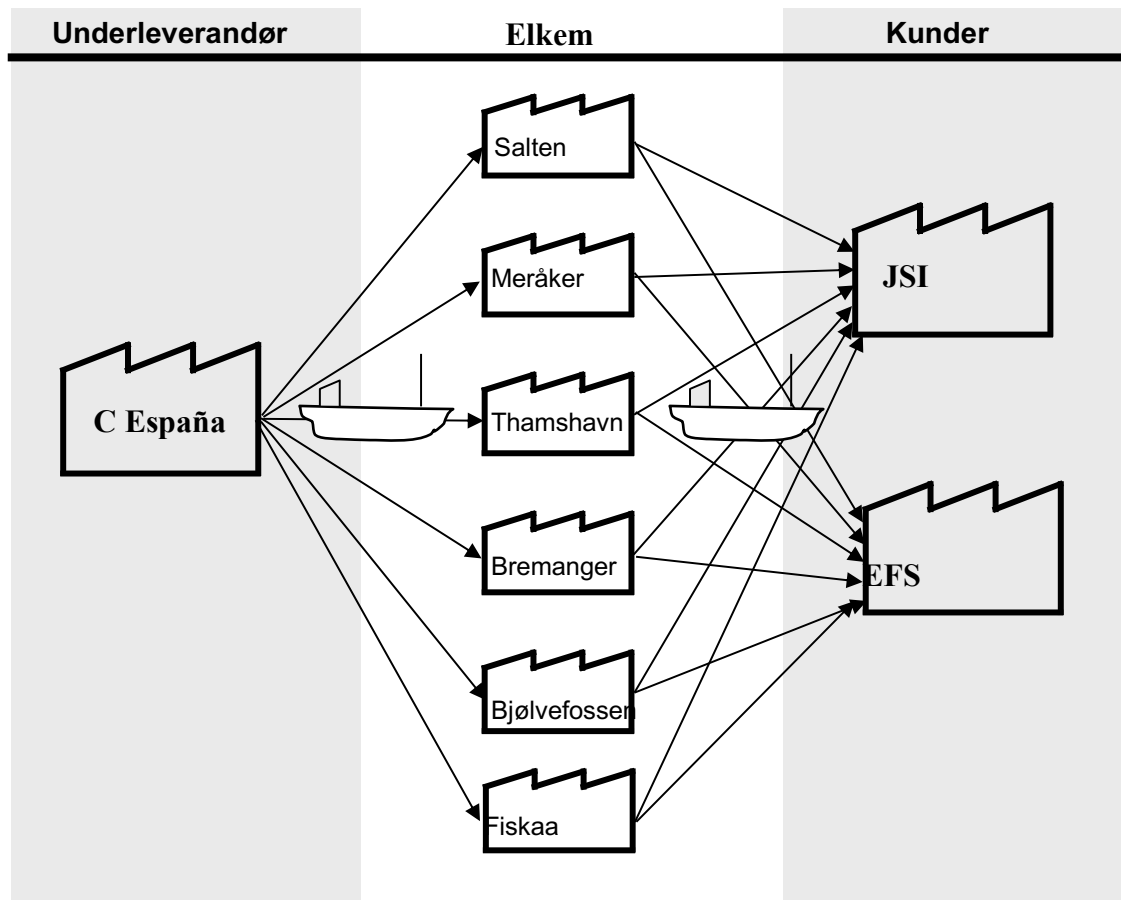
Tabell 2 Innkjøps og transportkostnader fra underleverandør i Spania til de ulike prosessanleggene i Norge.

Elkem har to store kunder. Elektronikkindustrien i Japan kjøper inn store mengder silisium til produksjon av elektroniske komponenter. De største produsentene kjøper inn samlet gjennom Japan Silicon Imports (JSI). Elkem har også en mengde mindre kunder i Europa som kjøper ferrosilisium, representert ved det europeiske varehuset EuroFerroSilicon (EFS). Elkem har gjennom langsiktige avtaler forpliktet seg til å levere 70.000 tonn silisium til JSI og 30.000 tonn ferrosilisium til EFS årlig.

Alle kundene får leveransene sjøveien. Kostnadene for leveranser fra de ulike prosessanleggene til kundene diskuterer du med den eksportansvarlige i logistikkavdelingen som finner frem en mengde papirer, og dere leter dere møysommelig frem til oversikten som er gjengitt i tabell 3.

	Fra fabrikk	Til JSI [kr/tonn]	Til EFS [kr/tonn]
1	Salten	250	400
2	Meråker	300	370
3	Thamshavn	200	400
4	Bremanger	300	400
5	Bjølfvossen	300	200
6	Fiskaa	200	150

Tabell 3 Transportkostnader fra fabrikk til kunde.



Figur 1 Forenklet verdikjede for Elkem (inkluderer kun vareflyt, ikke informasjonsflyt mm).

Oppgave 1a)

Du skal sette opp en modell for Elkems verdikjede. Gjør de antagelser du mener er nødvendig, navnsett alle indekser, data og beslutningsvariable. Sett opp en generell matematisk modell for minimering av kostnader under restriksjonene som er nevnt innledningsvis. Restriksjonene skal skrives med definerte navn, og ingen sifre skal fremkomme i denne generelle matematiske modellen.

Oppgave 1b)

Overfør så modellen til *Excel* og bruk *Solver add-in* til å minimere totalkostnaden med hensyn på produksjonssted, allokering av kvantum, osv. Før et planlagt møte med ledelsen får du vite at det har vært mye uro og store demonstrasjoner og aksjoner lokalt i Salten, Bremanger og Bjølvefossen. Departementet yter press på toppledelsen og åpner for bruk av politiske insentiver for å opprettholde driften ved prosessanleggene i Salten, Bremanger og Bjølvefossen. Ledelsen vil derfor at modellen skal finne en løsning der disse anleggene fremdeles er i drift. Drift ved Meråker, Fiskaa og Thamshavn er fortsatt beslutningsvariable.

OBS!

I mellomregningene runder Excel alle tall til 15 gjeldende siffer, og får lett numeriske problemer (og gir usaklige feilmeldinger). Det er derfor viktig å tenke på å skalere data og få omtrent lik størrelsesorden slik at disse avrundingsfeilene blir minst mulig. Når man skalerer er det viktig å være nøye med å påse at sammenhengen mellom de ulike tallstørrelsene forblir riktig. Det blir lettere hvis dere korrigerer variabelenes måleenheter for skaleringen. Ideelt sett bør tallverdiene være valgt slik at de er mellom 0,1 og 10, men dette er ikke alltid mulig.

Oppgave 1c)

Når møtet med ledelsen begynner bør du kunne svare på blant annet følgende spørsmål:

- i. Hvilke prosessanlegg skal vi ha produksjon på og hvilke skal vi midlertidig innstille?
- ii. Hvilke anlegg skal forsyne hvilke kunder med henholdsvis silisium og ferrosilisium?
- iii. Gitt at ledelsen nå går for den strukturen du fant over. De vil vite hvor robust den foreslåtte produksjons- og distribusjonsløsningen er for endringer i etterspørselen hos de to kundene. Altså, med hvor mange prosent kan etterspørselen endres for de to kundene (hver for seg) uten at det endrer seg hvilke prosessanlegg det er optimalt å holde i drift?

Tips: For å få ut sensitivitetsrapporter må du nå låse de binærvariable til verdiene de fikk i i). (du låser variable ved slette dem fra "by changing" og fra restriksjonene i solveren) Når du løser problemet på nytt med binærvariablene som konstanter, kan du skrive ut sensitivitetsrapporter og svare på spørsmålet om robusthet. Rapporten kan bli lettere å lese hvis kolonner gis fornuftige navn rett over, og rader gis fornuftige navn rett til venstre. Navn på celleområder må være ulike for ulike celler i samme arbeidsbok for at Solveren skal fungere. (Navn kan bli like hvis arket fra en oppgave kopieres og brukes som utgangspunkt for den neste). Celleområdenavn kan endres ved hjelp av Formulas / Name Manager på verktøylinja.

Oppgave 1d)

- i. Under møtet med ledelsen får du opplyst at de nylig har fått en forespørsel fra JSI om en endring av den eksisterende avtalen. I den reviderte avtalen ønsker de at det skal leveres 10.000 tonn ekstra silisium per år (dvs. totalt 80.000 tonn/år). Ledelsen ber deg ved hjelp av modellen vise om det blir noen endring i hvilke produksjonsanlegg som blir brukt. Hvis det er en endring, så ber de deg forklare hvorfor denne endringen bør/må gjøres.

- ii. Etter å ha fokusert kun på kostnadene forbundet med å øke leveransene bestemmer ledelsen seg for også å vurdere inntektssiden slik at de kan bestemme om den reviderte avtalen bør inngås eller ikke. Avtalen er av langvarig karakter og skal kun vurderes ut i fra om den er lønnsom eller ikke. Kun disse 10 000 ekstra tonnene skal tas med i vurderingene. JSI er maksimalt villige til å betale 13 000 kr per tonn for disse og er kun interessert dersom de får alle de 10.000 tonnene. Basert på resultatene etter å ha løst modellen fra forrige deloppgave, kan du si om Elkem bør signere den reviderte avtalen eller ikke?
- iii. Elkem har fått opplyst at et konsultentselskap har utviklet et overvåkingssystem for fabrikkstyring. Systemet kan kun installeres på fabrikken i Meråker. Den nye teknologien gjør det mulig å øke produksjonskapasiteten med 2000 tonn/år men oppgraderingen vil øke anleggets faste kostnad med kr 30 millioner /år. Trenger du å løse hele modellen på nytt for å kunne finne ut om det vil lønne seg å gjøre denne investeringen med den reviderte avtalen i 1d) ii)? Forklar hvorfor (evt. hvorfor ikke.), men du trenger ikke løse modellen på nytt, uavhengig av svaret du gir.

Oppgave 1e)

Det kan gjøres investeringer ved hvert enkelt produksjonsanlegg som øker mengden ferdig produkt fra hver enhet råvare med 10 %. Denne investeringen øker anleggets faste kostnad med kr 20 millioner /år.

- i. Hvordan vil du formulere denne muligheten matematisk? Her må man legge til/bytte ut restriksjoner og et nytt ledd i målfunksjonen i den gamle modellen.
- ii. Kopier arket med den gamle modellen og modifiser kopien slik at den kan brukes til å gjøre denne investeringsbeslutningen for hvert prosessanlegg. Hvilke av anleggene vil det lønne seg å oppgradere med dette produktivitetsforbedrende tiltaket?
- iii. Løsningstiden øker sammenlignet med 1d). Hva er grunnen til det?

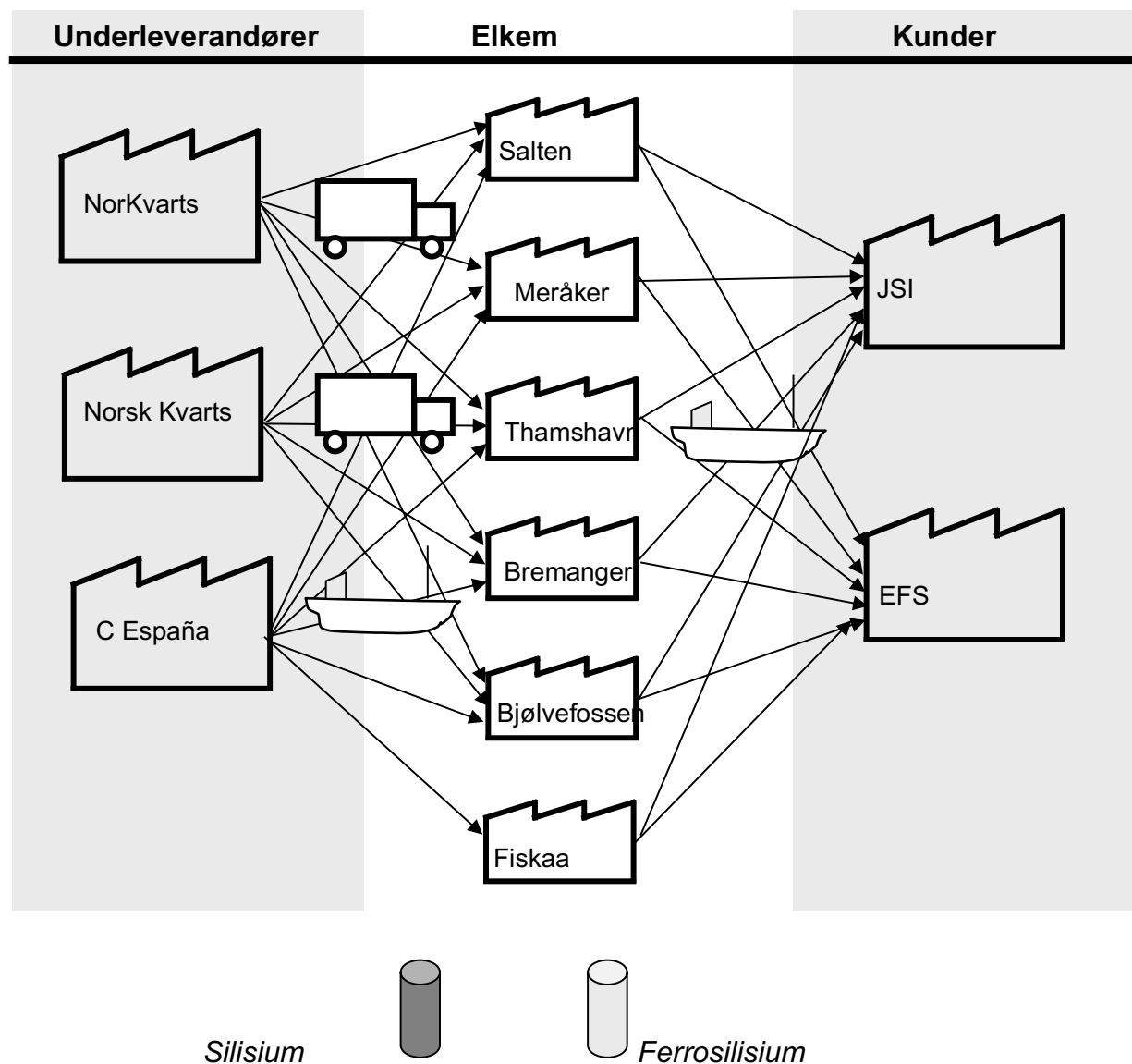
Oppgave 2

Du er fornøyd etter møtet med ledelsen. Administrerende direktør roste deg for effektivt arbeid. Han ønsket imidlertid en enda grundigere analyse av situasjonen. Du ble derfor bedt om å utvide modellen til å inkludere flere aspekter som er viktige for Elkem. Dette er utbedringene ledelsen ønsker:

1. Elkem har flere underleverandører enn Cuarzo España. Det finnes også norske kvartsgruver, men kvaliteten er ikke like god som den spanske. Ledelsen vil likevel utrede muligheten for å redusere transportbehovet ved å benytte lokale leverandører. Fordi kvaliteten ikke er like god, vil Elkem ikke kunne produsere like stor mengde silisiumprodukter pr tonn kvarts som med den spanske kvartsen. Kvarts kan leveres fra NorKvarts eller fra Norsk Kvarts. Alle tre underleverandører må med i modellen. Begge de norske underleverandørene transporterer varene i lastebiler til Elkems fabrikker. Du får hjelp av logistikksjefen til å finne transportprisene fra anbud dere har innhentet tidligere, og de er gitt i tabell 4. Cuarzo España kan bare levere med skip, og kostnadene er som i oppgave 1. Råvareprisen for spansk kvarts er som før, prisene fra de norske leverandørene har innkjøpsavdelingen gitt deg i tabell 8.
2. Elkem produserer som nevnt to silisiumprodukter. Disse har forskjellige krav til pakking og lagring, og må lagres i separate lagre i leveringsterminalen. Hvert lager har kun kapasitet til en brøkdel av totalmengden som produseres mellom anløp av skip til kundene. Dette begrenser hvor fleksible anleggene er i praksis, for når lageret for det ene produktet er fullt, finnes kun lagringsplass for det andre produktet. Du tar kontakt med alle fabrikksefene, og de oppgir sin lagerkapasitet. Du sammenstiller disse opplysningene i tabell 5. Hvor mye råvarer fra de alternative kildene som kreves for å produsere de to silisiumproduktene har du fått teknisk avdeling til å anslå for deg, og de er summert opp i tabell 7.
3. Av hensyn til forhold som ikke kan tas med i modellen, ønsker ledelsen at anleggene i Bremanger og Meråker produserer kun ett av produktene, og at de ikke produserer det samme. Det vil si at enten produserer anlegget i Bremanger kun silisium og det på Meråker kun ferrosilisium eller motsatt.

	Til fabrikk	Fra C España, [kr/tonn]	Fra NorKvarts, [kr/tonn]	Fra Norsk Kvarts, [kr/tonn]
1	Salten	400	50	64
2	Meråker	500	55	97
3	Thamshavn	250	750	102
4	Bremanger	250	350	300
5	Bjølfvossen	200	500	500
6	Fiskaa	200	150	70

4. Tabell 4 Kostnader for transport av kvarts til Elkem sine prosessanlegg.



Figur 2 Verdikjede for Elkem (inkluderer kun vareflyt, ikke informasjonsflyt mm).

	Fabrikk	Silisium	Ferrosilisium
1	Salten	100 %	40 %
2	Meråker	70 %	85 %
3	Thamshavn	100 %	80 %
4	Bremanger	100 %	50 %
5	Bjølvfossen	45 %	75 %
6	Fiskaa	55 %	70 %

Tabell 5 Øvre grense (i prosent av totalkapasitet) for enkeltkomponenter ved de ulike prosessanleggene

Et anlegg kan selvsagt ikke overstige 100 % av tilgjengelig kapasitet, men ulik andel av de to produktene kan velges avhengig av hva som er mest hensiktsmessig. For eksempel i Salten er lagerkapasiteten for ferrosilisium bare 40 % av maksimal totalproduksjon mellom to anløp slik at maksimalt 40 % av produksjonskapasiteten kan brukes til ferrosilisium. Lagringstanken for silisium samme sted er derimot mist like stor som maksimal totalproduksjon så den er ikke noen flaskehals.

	Sted	Produksjon basert på råvare fra NorKvarts		Produksjon basert på råvare fra Cuarzo España		Produksjon basert på råvare fra Norsk Kvarts	
		Silisium	Ferrosilium	silisium	Ferrosilium	silisium	Ferrosilium
1	Salten	0,09	0,08	0,15	0,14	0,1	0,09
2	Meråker	0,05	0,04	0,14	0,13	0,09	0,07
3	Thamshavn	0,08	0,06	0,13	0,12	0,12	0,1
4	Bremanger	0,02	0,015	0,13	0,12	0,11	0,09
5	Bjølvefossen	0,07	0,019	0,12	0,11	0,11	0,08
6	Fiskaa	0,06	0,018	0,11	0,1	0,1	0,09

Tabell 6 Produksjon fra hver enhet av de ulike råvarene ved hvert enkelt anlegg

Alternativ råvare	kr/tonn
NorKvarts	850
Norsk Kvarts	700

Tabell 7 Pris fra norske leverandører kr/tonn.

Oppgave 2a)

Sett opp en generell matematisk modell for dette problemet med minimering av kostnader. Gjør nødvendige antagelser og navngi alle indekser, data og beslutningsvariable. Restriksjonene skal skrives med de navn som er definert og ingen sifre skal fremkomme i denne generelle matematiske modellen.

Når du setter opp denne modellen, skal du anta at det ikke er bestemt hvilke fabrikker som skal drives videre og hvilke som eventuelt skal stenges.

Oppgave 2b)

Overfør modellen fra oppgave 2a) til Excel og løs ved hjelp av Solver add-in.

Lykke til!