



SCM200

Lager- og produksjonsplanlegging

Eksamensoppgaver 2015 - 2017

Bård-Inge Pettersen
Per Kristian Rekdal



Høgskolen i Molde
Vitenskapelig høgskole i logistikk

Forord

Eksamensoppgaver:

Dette er en [samling av eksamensoppgaver](#) i emnet “*SCM200 Lager- og produksjonsplanlegging*” ved Høgskolen i Molde fra 2015 – 2017.

Det finnes også en tilhørende samling med komplette løsningsforslag til disse eksamensoppgavene. Samlingen med løsningsforslag finnes i et eget hefte, separert fra dette oppgaveheftet.

Gratis:

Både samlingen med eksamensoppgaver og tilhørende samling med komplette løsningsforslag kan lastes ned [gratis](#) via Høgskolen i Molde sin åpne kursportal www.himoldeX.no.

Hvordan bruke denne samlingen av gamle eksamensoppgaver?:

Man blir ikke god i logistikk kun ved å se på video. Man må løse oppgaver.

Videoer:

Komplette sett med forelesningsvideoer i SCM200 finner du [her](#).

Bård-Inge Pettersen

Copyright © Høgskolen i Molde, mai 2018.

Innhold

1	Testeksamen 2015	7
2	Hovedeksamen 2015	16
3	Kontinuasjoneksamen 2015	29
4	Testeksamen 2016	42
5	Hovedeksamen 2016	57
6	Kontinuasjoneksamen 2016	72

Testeksamen 2015

TESTeksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsplanlegging

Eksamensdag	: Våren 2015
Tid	: 09:00 – 13:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	: Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator med tot minne
Antall sider inkl. forsiden	: XX (1 side)
Målform	: Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Kladdark skal ikke leveres inn. De blir ikke sensurert.**

Oppgave 1: (prognostisering og EOQ og Wagner-Within)

Logistikkavdelingen hos hovedlageret for Lefdal AS, ønsker å planlegge innkjøpet av iPhone 6 de neste 8 ukene.

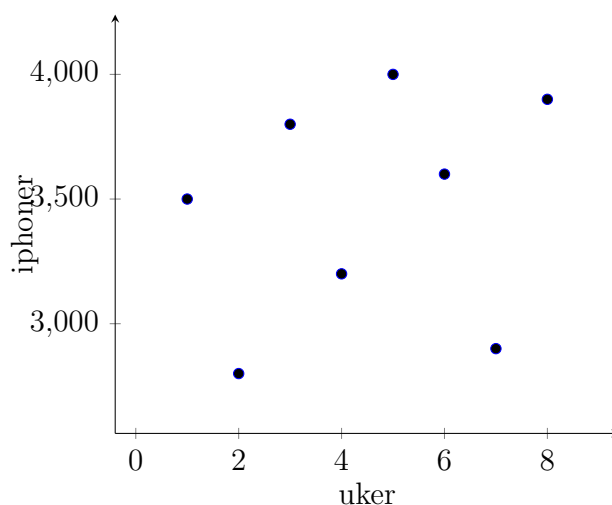
De har i den forbindelse samlet historiske data de siste 8 ukene som grunnlag for å kunne prognostisere salget de neste 8 ukene:

som gir følgende figur:

Siden grafen viser at salget av antall Iphoner utvikler seg relativt tilfeldig, har kontoret bestemt seg å bruke *eksponensiell glatting* med glattingsparameter $\theta = 0.2$ for å prognostisere antall service ordrer.

- a) Hvilken antakelse har kontoret gjort ved valget av glattingsparameter?
- b) Regn ut prognoser for de neste 8 ukene ved hjelp av metoden eksponensiell glatting. Bruk glattingsparameter $\theta = 0.2$. Avrund til nærmeste heltall.
- c) Logistikkavdelingen ønsker å bruke prognosen fra oppgave b) til å bestemme optimale ordrestørrelser. De har estimert følgende merkostnader forbundet med innkjøp:
Avdelingen har bestemt seg for å benytte EOQ-formelen for å beregne optimal ordrestørrelse.
 - i. Hvilken hovedantakelse har avdelingen gjort når de har bestemt seg for å benytte EOQ-formelen?
 - ii. Beregn optimal ordrestørrelse ved EOQ. Avrund til nærmest heltall.
 - iii. Anta initielt lager av iphone til første uke er akkurat lik EOQ. Anta at salget faktisk er konstant lik prognosen vi fant i oppgave b. Hvor mange bestillinger må Lefdal gjøre i løpet av horisonten.
 - iv. Hva er den totale merkostnaden pr uke? Hva er den totale merkostnaden i løpet av horisonten. Ikke regn med lagerkostnaden fra det initielle lageret, men ta med restlageret i siste uke.
 - v. Etter nærmere analyse, har avdelingen kommet frem til at bestillingsprisen består av to deler, en fraktkostnad på 15000 og den resterende delen på 5000 som står for administrative kostnader. Avdelingen vurderer å skaffe inn et nytt ordresystem som kan fjerne den administrative delen. Regn ut ny optimal ordrestørrelse dersom de hadde benyttet seg av det nye ordresystemet.
 - vi. Hvis vi antar at etterspørselen holder seg konstant i all tid fremover, hvor mange uker tar det før investeringen i det nye systemet er tjent inn? Systemet har en investeringskostnad på 30000 kroner.

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Solgte Iphoner	3500	3000	2800	3200	4000	3600	2900	3300



d) Det er svært viktig for Lefdal å ikke tape salg av IPhoner. De regner med at 60% av kundene tar imot bestilling, mens 40% av kundene går til en annen leverandør. For å kunne håndtere leveringsgraden best mulig, har avdelingen bestemt seg for å bruke bestillingspunktmodellen for når de faktisk skal legge inn nye ordrer.

De opererer med en ledetid på 13 dager. I tillegg ønsker de at sannsynligheten for at de ikke skal få stockout er 99%, som svarer til en sikkerhetsfaktor på 2.33. For å få til dette, må de ha et sikkerhetslager som tar høyde for variasjonen i etterspørselen. Standardavviket for de 8 historiske ukene er beregnet til 376 iphoner.

- i. Beregn størrelsen på sikkerhetslageret.
- ii. Beregn bestillingspunktet.
- iii. Beregn kostnaden på sikkerhetslageret.
- iv. Lefdal har estimert et totalt salg på 26000 IPhoner i løpet av horisonten. Beregn forventet tapt salg i løpet av horisonten, når nettogevinsten per iPhone solgt er estimert til 3000 kroner. Sett i lys av forventet tap i horisonten, hva hadde vært ditt råd til Lefdal? Begrunn svaret.
- v. Lefdal vet at Apple er en spesiell bedrift som seggregerer kundene i sølv, gull og platinum kunder. Lefdal er per i dag en gull kunde. For platinum kunder, garanterer Apple en leveringstid på kun 8 dager. Hvor mye kan Lefdal spare pr uke ved å bli platinum kunde?

e) Lefdal har innsett at antakelsen om konstant etterspørsel ved bruk av EOQ-modellen ikke holder mål. Etterspørselen varierer for mye, og de må istedet benytte matematisk modellering for å bestemme optimale ordrestørrelser.

Kost	Kostnad(NOK)
Årlig lagerrente	0.1
Bestillingskostnad	20000
Innkjøpspris	2000

Lefdal har i den sammenheng, også gått vekk ifra eksponensiell glatting som prognosemetode, og har istedet utviklet en metode som også tar høyde for faktiske ordrer som ligger inne. Prognosen for de kommende 8 ukene har blitt beregnet til:

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Solgte Iphoner	3000	2000	2800	3400	3000	2000	3800	3700

Estimert lagerkostnad er 2 kroner pr uke pr iPhone, mens bestillingskostnaden er 20000. Initielt lager, sluttlager samt sikkerhetslager er allerede lagt inn i tallene fra prognosen over, så vi kan anta at alle disse størrelsene er null.

Tips: For alle deloppgavene under anbefales det at man bruker indeksnotasjon. Selv om det ikke er et krav, kan dere spare mye tid.

- i. Definer hvilke data vi har i modellen.
 - ii. Definer hvilke variabler vi har i modellen.
 - iii. Uttrykk målfunksjonen i problemet (minimale merkostnader).
 - iv. Uttrykk føringene i problemet (lagerbalanse, logisk føring).
- e) Logistikkgruppa ved Lefdal husker noe vagt fra MASTERSTUDIET sitt på Høgskolen i Molde om noe som het Wagner-Within algoritmen, som benyttes for å løse denne typen problemstillinger. Hukommelsen er dessverre for vag, så de trenger hjelp ifra dere.

Vi skal derfor løse problemet ved hjelp av Wagner-Within. Siden foreleser synes at Wagner-Within algoritmen er en grunnstein i produksjonsplanlegging, så klarte han ikke å dy seg med å tyvstarte algoritmen. Her er de fire første delproblemene, løst ved hjelp av algoritmen:

$$C_1^* = \min[20000] = 20000$$

$$C_2^* = \min[24000, 40000] = 24000$$

$$C_3^* = \min[35200, 45600, 44000] = 35200$$

$$C_4^* = \min[55600, 59200, 50800, 55200] = 50800$$

Når foreleser var ferdig med delproblem 4, hadde han en liten stille jubel for seg selv, for da visste han at han kunne benytte det velkjente *Horisontteoremet* for den videre gangen.

- i. Benytt horisontteoremet, og beregn delproblemene C_5^* , C_6^* , C_7^* , C_8^* . Benytt horisontteoremet hvor det er mulig.
- ii. Finn den optimale produksjonsplanen, dvs finn $C_{xxxxxxx}$, bestillingsstørrelser og lagerkvan-
ta.

Oppgave 2: (MPS og MRP og sekvensiering)

Stokke AS er en svært tradisjonell produsent av barneutstyr, grunnlagt på Sunnmøre i Møre og Romsdal. Vi skal se på kanskje det mest kjente produktet deres: Tripp-Trapp stolen:



Figur 1: Den velkjente Tripp-Trapp barnestolen fra Stokke AS på Sunnmøre.

Det første vi skal gjøre er å utarbeide master planen for de neste 10 ukene for Tripp-Trapp stolen.

Vi har gitt følgende utgangspunkt:

Uke	init	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prognose		300	380	340	230	420	250	320	280	340	300
Ordre		350	180	400	350	340	300	250	40	140	450
Lagernivå	800										
Ledig-til-reservasjon											
MPS											

De opererer med en produksjonstid på 2 uker per serie, hvor hver serie er på 800 Tripp-Trapp stoler. De har to ukers fryst sone, 5 ukers fleksibel sone og 3 ukers fri sone.

a)

- Beregn masterplanen for Tripp-Trapp stolen, under policyen om at de bestiller en ny seriestørrelse fra produksjonen hver gang de er på vei til å gå tomt på lager.
- Stokke leverer Tripp-Trapp stoler til forhandlere i hele verden, så for dem er det svært viktig å kunne gi kundene forsikringer om at de kan levere en ordre før de godkjenner den. Hvilken rad forteller Stokke denne informasjon i MPS-planen, og hva er definisjonen av denne størrelsen?
- Planen viser tegn til å ikke være i balanse. Hva er problemet med planen, og forklar hvordan en slik situasjon kan oppstå. Hvordan ville du ha løst problemet? Begrunn svaret.

b) Du skal nå gjøre MRP-beregninger for Tripp-Trapp stolen. BOM-strukturen sier at en Tripp-Trapp stol består av:

- To ryggstøtter
- To sidebein
- En stor sitteplate
- En liten sitteplate
- En jernstang
- En beinstøtte

Hvert sidebein består igjen av:

- En bunnplanke
- En ståplanke

Store sitteplater og små sitteplater produseres som en serie, siden Stokke har en maskin som automatisk produserer begge platene uten oppsyn av ansatte.

Jernstangen, bunnplanken og beinstøtten er såkalte C-artikler, så det føres ikke MRP-plan for disse komponentene.

Ståplanke brukes også i en annen stolvariant. Det er to planlagte ordrer med seriestørrelse 2000 for denne stolvarianten: en i uke 3 og en i uke 6. Ståplanke opplever også i snitt 10% svinn på lageret hver uke, siden den også selges som reserverdel

Stokke har samlet opp all nødvendig informasjon for å gjennomføre MRP-beregningene for resten av komponentene i tabellen under:

Komponent	Ledetid	Seriestørrelse	På lager	Mottak	Sikkerhetslager
Ryggstøtte	2	Lot-for-lot	800	850 i uke 1	0
Sidebein	3	4000	4000	-	200
Stor sitteplate	1	1000	300	1200 i uke 1	200
Liten sitteplate	1	1000	300	1200 i uke 1	200
Ståplanke	2	8000	4000	-	600

a) Tegn opp produktstrukturen (BOM) for Tripp-Trapp stolen.

b) Beregn MRP-størrelsene for alle komponentene det gjelder for.

c) Vi skal nå se på selve produksjonen av to ordrer: En ordre for Tripp-Trapp stolene på 60 stoler, og en ordre for et liknende produkt kalt *Vippestolen* på 30 stoler.

Disse to produktene tilordnes på de samme to stasjonene i serie, stasjon 1 og stasjon 2.

En Tripp-Trapp stol bruker i snitt 3 minutter på stasjon 1 og 5 minutter på stasjon 2, mens Vippestolen bruker 8 minutter på stasjon 1 og 4 minutter på stasjon 2.

Begge ordrene må bearbejdes først på stasjon 1 og deretter på stasjon 2, og de kan ikke prosesseres samtidig.

- i. Finn minimal gjennomløpstid og minimalt makespan for sekvensieringsproblemet ved å sette opp Ganttogrammer for de forskjellige alternativene, og les av verdiene og velg den beste sekvensen.
- ii. Anta at Stokke har fått inn en ny ordre på 120 barnebilseter, som også prosesseres på de samme stasjonene. En barnestol prosesseres på 0.5 minutter på stasjon 1 og 2.5 minutter på stasjon 2. Finn minimal gjennomløpstid og minimalt makespan for det nye sekvensieringsproblemet ved å sette opp Ganttogrammer for forskjellige alternativer, og les av verdiene og velg den beste sekvensen (Du kan godt argumentere for at noen sekvenser åpenbart ikke er optimale, og dermed utelate disse fra analysen).

Hovedeksamen 2015

Eksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsplanlegging

(Molde og Kristiansund)

Eksamensdag	: 22. mai 2015
Tid	: 09:00 – 14:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	: Molde: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886 Kristiansund: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	: Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator med tot minne
Antall sider inkl. forsiden	: 8 + vedlegg (4 sider)
Målform	: Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Kladdark skal ikke leveres inn. De blir ikke sensurert.**
- **Det er totalt 2 oppgaver. Bruk 3.5 time på første oppgave og 1.5 timer på andre oppgave.**

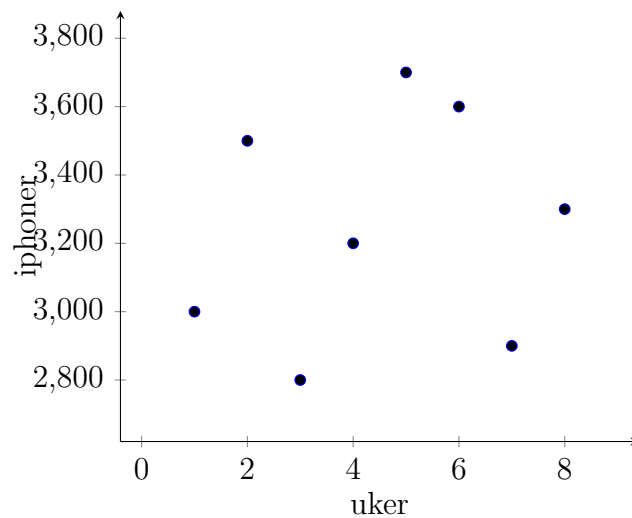
Oppgave 1 (65%): (prognostisering og EOQ og Wagner-Within)

Logistikkavdelingen hos hovedlageret for Lefdal AS, ønsker å planlegge innkjøpet av iPhone 6 de neste 8 ukene.

De har i den forbindelse samlet historiske data de siste 8 ukene som grunnlag for å kunne prognostisere salget de neste 8 ukene:

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Solgte Iphoner	3000	3500	2800	3200	3700	3600	2900	3300

som gir følgende figur:



Siden grafen viser at salget av antall Iphoner utvikler seg relativt tilfeldig, har kontoret bestemt seg for å bruke *eksponensiell glatting* med glattingsparameter $\theta = 0.8$ for å prognostisere antall service ordrer.

- a) (2.5%) Hvilken antakelse har kontoret gjort ved valget av glattingsparameter?
- b) (5%) Regn ut prognoser for de neste 8 ukene ved hjelp av metoden eksponensiell glatting. Bruk glattingsparameter $\theta = 0.8$. Avrund til nærmeste heltall.
- c) (5%) Regn ut måltallet MAD for metoden fra uke 2 til og med uke 8. Hva kan dette måltallet benyttes til? Begrunn svaret!

d) (12.5%) Logistikkavdelingen ønsker å bruke prognosen fra oppgave b) til å bestemme optimale ordrestørrelser. De har estimert følgende merkestnader forbundet med innkjøp:

Kost	Kostnad(NOK)
Årlig lagerrente	0.1
Bestillingskostnad	20000
Innkjøpspris	3000

Avdelingen har bestemt seg for å benytte EOQ-formelen for å beregne optimal ordrestørrelse.

- (2.5%) Hvilken hovedantakelse har avdelingen gjort når de har bestemt seg for å benytte EOQ-formelen?
- (2.5%) Beregn optimal ordrestørrelse ved EOQ. Avrund til nærmest heltall.
- (2.5%) Hva er **omløpstiden** på lageret, dvs hvor langt tid tar det fra lageret er fullt til lageret er tomt? Avrund svaret til to desimaler.
- (2.5%) Hva er den totale merkestnaden pr uke? Avrund til nærmest heltall.
- (2.5%) Avdelingen har fått et tilbud fra Apple om at hvis de bestiller 5000 IPhoner, så får de en rabatt på 10%. Vi skal nå vurdere om avdelingen burde gå vekk ifra EOQ og bestille 5000 Iphoner eller ikke. Regn ut den ukentlige kostnaden når vi bestiller 5000 Iphoner, hvor den **ukentlige** rabatten kan trekkes ifra. Avgjør om det er best å skifte til 5000 eller fortsatt bruke EOQ.

e) (7.5%) Lefdal er klar over at antakelsen om konstant etterspørsel faktisk ikke er oppfylt, så de har bestemt seg for å benytte sikkerhetslager og bestillingspunktmodellen for å styre lageret best mulig.

De opererer med en ledetid på 6 dager. I tillegg ønsker de at sannsynligheten for at de ikke skal få stockout er 99%, som svarer til en sikkerhetsfaktor på 2.33. For å få til dette, må de ha et sikkerhetslager som tar høyde for variasjonen i etterspørselen. Anta at det ukentlige salget er normalfordelt med middelvei på 3250 Iphoner og standardavvik på 312 Iphoner pr uke.

- (2.5%) Beregn størrelsen på sikkerhetslageret. Avrund til nærmeste heltall.
- (2.5%) Beregn den årlige kostnaden på sikkerhetslageret. Lefdal opererer med 52 uker i året. Avrund til nærmeste heltall.
- (2.5%) Beregn bestillingspunktet. Avrund til nærmeste heltall.

f) (5% vanskelig) En av de andre antakelsene ved EOQ-formelen er at det ikke tillates **back-ordering**, dvs at det ikke tas imot bestillinger. Men dette er jo ikke helt tilfellet for Lefdal, siden butikkene i høyeste grad tar imot backlogging. Problemet er at en viss andel av kjøperne går til en annen leverandør når de får spørsmål om å ta imot en bestilling.

Lefdal har estimert en kostnad når de tar imot en bestilling fra sluttkunden på kroner 150 pr uke. De ønsker nå å finne optimal ordrestørrelse X^* samt **optimalt antall Iphoner**, B^* , som de kan ta imot bestilling for pr lagersyklus.

Ved liknende metodikk som for EOQ, finner man at

$$X^* = \sqrt{\frac{2DS}{C_H}} \sqrt{\frac{C_H + b}{b}}$$

$$B^* = \sqrt{\frac{2DS}{b}} \sqrt{\frac{C_H}{C_H + b}}$$

hvor b er backorderingkostnaden for hver per bestilt Iphone (150 kroner).

Regn ut optimal ordrekostnad og optimalt antall Iphoner de tar imot bestillinger for pr lagersyklus. Regn ut nytt bestillingspunkt som tar høyde for at Lefdal tar imot et visst antall bestillinger pr uke. Bruk de samme dataene som i oppgave e). Avrund alle svar til nærmeste heltall.

g) (10%) Lefdal har innsett at antakelsen om konstant etterspørsel ved bruk av EOQ-modellen ikke holder mål. Etterspørselen varierer for mye, og de må istedet benytte matematisk modellering for å bestemme optimale ordrestørrelser.

Lefdal har i den sammenheng, også gått vekk ifra eksponensiell glatting som prognosemetode, og har istedet utviklet en metode som også tar høyde for faktiske ordrer som ligger inne. Prognosen for de kommende 8 ukene har blitt beregnet til:

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Solgte Iphoner	3000	2000	2800	3400	3000	5000	4500	3700

Estimert lagerkostnad er 2 kroner pr uke pr iPhone, mens bestillingskostnaden er 20000. Initielt lager, sluttlager samt sikkerhetslager er allerede lagt inn i tallene fra prognosen over, så vi kan anta at alle disse størrelsene er null.

Tips: For alle deloppgavene under anbefales det at man bruker indeksnotasjon. Selv om det ikke er et krav, kan dere spare mye tid.

- i. (2.5%) Definer hvilke data vi har i modellen.
- ii. (2.5%) Definer hvilke variabler vi har i modellen.

- iii. (2.5%) Uttrykk målfunksjonen i problemet (minimale merknader).
- iv. (2.5%) Uttrykk føringene i problemet (lagerbalanse, logisk føring).

h) (17.5%) Logistikkgruppa ved Lefdal har bestemt seg for å løse optimeringsmodellen fra oppgave g) ved hjelp av Wagner-Wihtins algoritme.

Her er de fire første delproblemene, løst ved hjelp av algoritmen:

$$C_1^* = \min[20000] = 20000$$

$$C_2^* = \min[24000, 40000] = 24000$$

$$C_3^* = \min[35200, 45600, 44000] = 35200$$

$$C_4^* = \min[55600, 59200, 50800, 55200] = 50800$$

- i. (5%) Fortsett Wagner-Wihtin algoritmen og beregn delproblemene C_5^* , C_6^* , C_7^* , C_8^* . Benytt horisontteoremet hvor det er mulig.
- ii. (2.5%) Finn den optimale produksjonsplanen, dvs finn $C_{xxxxxxx}$, optimale bestillingsstørrelser og optimale lagerkvanta.
- iii. (2.5%) Anta det for uke 5 blir kansellert en ordre på 1000 Iphoner. Det vil si etterspørselen i uke 5 synker fra 3000 til 2000 Iphoner. Gjør kun de nødvendige beregningene for å bestemme ny optimal bestillingsplan $C_{xxxxxxx}$, dvs *ikke* beregn optimal kostnad, bestillingsstørrelser eller lagerkvanta.
- iv. (2.5% vanskelig) Apple er velkjent for å være litt selektiv på bestillinger av Iphoner. En av reglene som Apple har, er at ingen bedrift får bestille Iphoner to uker på rad. Det må med andre ord være minst en uke uten bestilling før en ny bestilling tas imot. Utvid modellen fra oppgave g) hvor dere inkluderer denne føringen. (tips: dette er en logisk føring, hvor logisk beskrivelse med variablene godtas som svar.)
- v. (2.5%) Er løsningen fra oppgave h.ii) fremdeles optimal under den nye føringen fra oppgave h.iv)? Begrunn svaret!
- vi. (2.5%) Er teoremene ifra Wagner-Within algoritmen om "Dominante Produksjonsplaner" og "Horisontteoremet" fremdeles gyldige under den nye føringen fra oppgave h.iv)? Begrunn svaret!

Oppgave 2 (35%): (MPS og MRP og sekvensiering)

Stokke AS er en svært tradisjonell produsent av barneutstyr, grunnlagt på Sunnmøre i Møre og Romsdal. Vi skal se på et av deres nyeste produkter: "Stokke Steps Chair".



Figur 1: "Stokke Steps Chair"

Det første vi skal gjøre er å utarbeide master planen for de neste 10 ukene for "Stokke Steps Chair" - stolen.

Vi har gitt følgende utgangspunkt:

Uke	init	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prognose		250	200	220	180	240	240	300	210	140	170
Ordre		240	230	180	200	180	300	200	240	60	70
Lagernivå	1000										
Ledig-til-reservasjon											
MPS											

De opererer med en produksjonstid på 3 uker per serie, hvor hver serie er på 1200 "Stokke Steps Chair" - stoler. De har tre ukers fryst sone, 4 ukers fleksibel sone og 3 ukers fri sone.

a) (5%)

- i. (2.5%) Beregn masterplanen for Tripp-Trapp stolen, under policyen om at de bestiller en ny seriestørrelse fra produksjonen hver gang de er på vei til å gå tomt på lager.
- ii. (2.5%) Anta Stokke får inn to ordre, en i uke 3 på 80 stoler og en i uke 4 på 100 stoler. Kan Stokke garantere disse ordrene? Begrunn svaret.

b) (22.5%) Du skal nå gjøre MRP-beregninger for ”Stokke Steps Chair” stolen. BOM-strukturen sier at en ”Stokke Steps Chair” består av:

- En ryggstøtte
- To bakbein
- To forbein
- Toppsete
- Bunnsete

Toppsetet består igjen av 2 setebøyler, mens bunnsetet kun har en setebøyle.

Toppseter og bunnseter produseres som en serie, siden Stokke har en maskin som automatisk produserer begge platene uten oppsyn av ansatte.

Bakbeina brukes også i en annen stolvariant. Det er to planlagte ordrer med seriestørrelse 2000 for bakbein fra denne stolvarianten: en i uke 3 og en i uke 6.

Stokke har et svinn på 10% på forbeina i produksjonen, siden borremaskinen av og til bommer.

Stokke har samlet opp all nødvendig informasjon for å gjennomføre MRP-beregningene for resten av komponentene i tabellen under:

Komponent	Ledetid	Seriestørrelse	På lager	Mottak	Sikkerhetslager
Ryggstøtte	1	1500	800	-	0
Bakbein	1	2500	1000	2500 i uke 1	0
Forbein	1	3000	0	-	0
Toppseter& bunnseter	1	2000	0	-	0
Setebøyler	2	7000	0	7000 i uke 1	500

- (2.5%) Tegn opp produktstrukturen (BOM) for ”Stokke Steps Chair” stolen.
- (20%) Beregn MRP-størrelsene for alle komponentene.

Beregningene fylles inn i tabellen i vedlegg A som finnes i to eksemplarer. Kun ett eksemplar skal leveres inn, det andre er ment som kladd. Husk å skrive studentnummer på arket.

c) (7.5%) Vi skal nå se på selve produksjonen av to ordrer: En ordre for ”Stokke Steps Chair” på 60 stoler, og en ordre for et liknende produkt kalt *Tripp-Trapp-stolen* på 30 stoler.

Disse to produktene tilordnes på de samme tre stasjonene i serie, stasjon 1, stasjon 2 og stasjon 3.

”Stokke Steps Chair” stolen bruker i snitt 4 minutter på stasjon 1, 2 minutter på stasjon 2 og 5 minutter på stasjon 3, mens Tripp-Trapp stolen bruker 6 minutter på stasjon 1, 8 minutter på stasjon 2 og 2 minutter på stasjon 3.

Begge ordrene må bearbeides først på stasjon 1, deretter på stasjon 2 og deretter på stasjon 3, og de kan ikke prosesseres samtidig.

- i. Finn minimal gjennomløpstid og minimalt makespan for sekvensieringsproblemet ved å sette opp Gantt-diagrammer for de to mulige rekkefølgene. Tegn inn operasjonene og les av verdiene og velg den beste sekvensen.

Bruk gantt-diagrammene som er tegnet opp i vedlegg B, som finnes i to eksemplarer. Kun ett eksemplar skal leveres inn, det andre er ment som kladd. Husk å skrive studentnummer på arket.

Vedlegg A

Studentnr: _____

MRP-plan

Uke	Init	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ryggstøtte											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Bakbein											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Forbein											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Toppseter & bunnseter											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Setebøyer											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Sikkerhetslager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											

Vedlegg A

KLADD

MRP-plan

Uke	Init	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ryggstøtte											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Bakbein											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Forbein											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Toppseter & bunnseter											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Setebøyer											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Sikkerhetslager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											

Vedlegg B

Studentnr: _____

Gantt diagrammer:

kommentarer:

- A står for ordren med 60 "Stokke Steps Chair"
- B står for ordren med 30 Tripp-Trapp stoler
- Tallene står for antall timer siden start
- Avgrens hver operasjon med en vertikal linje og skriv over hver operasjon bokstavene "A" eller "B" dersom det er ordre A eller ordre B som prosesseres henholdsvis.

Rekkefølge AB																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Maskin 1																															
Maskin 2																															
Maskin 3																															

Rekkefølge BA																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Maskin 1																															
Maskin 2																															
Maskin 3																															

Vedlegg B

KLADD

Gantt diagrammer:

kommentarer:

- A står for ordren med 60 "Stokke Steps Chair"
- B står for ordren med 30 Tripp-Trapp stoler
- Tallene står for antall timer siden start
- Avgrens hver operasjon med en vertikal linje og skriv over hver operasjon bokstavene "A" eller "B" dersom det er ordre A eller ordre B som prosesseres henholdsvis.

Rekkefølge AB																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Maskin 1																															
Maskin 2																															
Maskin 3																															

Rekkefølge BA																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Maskin 1																															
Maskin 2																															
Maskin 3																															

Kontinuasjonseksamen 2015

Eksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsplanlegging

(Molde og Kristiansund)

Eksamensdag	: 5. januar 2016
Tid	: 09:00 – 14:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	: Molde: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886 Kristiansund: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	: Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator med tot minne
Antall sider inkl. forsiden	: 8 + vedlegg (4 sider)
Målform	: Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Kladdark skal ikke leveres inn. De blir ikke sensurert.**
- **Det er totalt 2 oppgaver. Bruk 3.5 time på første oppgave og 1.5 timer på andre oppgave.**

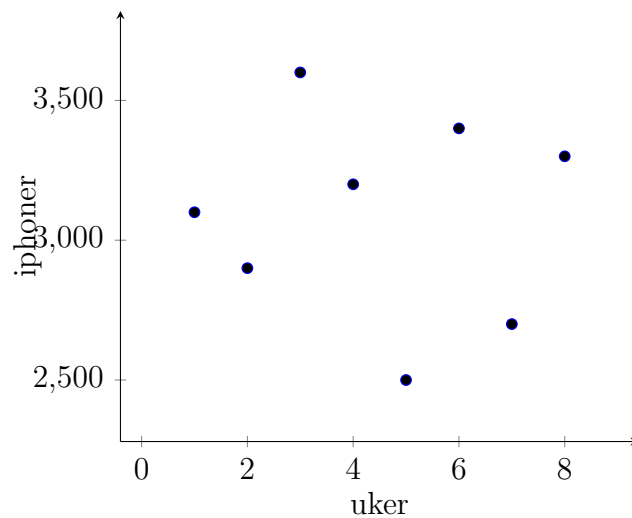
Oppgave 1 (65%): (prognostisering og EOQ og Wagner-Within)

Logistikkavdelingen hos hovedlageret for Elkjøp AS, ønsker å planlegge innkjøpet av iPhone 6 de neste 8 ukene.

De har i den forbindelse samlet historiske data de siste 8 ukene som grunnlag for å kunne prognostisere salget de neste 8 ukene:

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Solgte Iphoner	3100	2900	3600	3200	2500	3400	2700	3300

som gir følgende figur:



Siden grafen viser at salget av antall Iphoner utvikler seg relativt tilfeldig, har kontoret bestemt seg for å bruke *eksponensiell glatting* med glattingsparameter $\theta = 0.7$ for å prognostisere antall service ordrer.

- a) (2.5%) Hvilke fordeler har metoden eksponensiell glatting? Begrunn svaret *kort!*
- b) (5%) Regn ut prognoser for de neste 8 ukene ved hjelp av metoden eksponensiell glatting. Bruk glattingsparameter $\theta = 0.7$. Avrund svaret til nærmeste heltall.
- c) (5% vanskelig) Anta at to uker har gått, og Elkjøp har fått to nye observasjoner:

Uke	9	10
Solgte Iphoner	3500	2800

Som en følge av de nye observasjonene, bestemte logistikkavdelingen seg for å bruke en *ny* verdi på glattingsparameteren θ .

Anta at med den nye glattingsparameteren fikk de en ny prognose for uke 11, 12 13 og 14 på 2910 Iphoner (dvs. $\hat{X}_{10} = 2910$).

Bestem hvilken verdi på glattingsparameteren logistikkavdelingen har valgt, gitt at prognosen for uke 9 ble 3165 (dvs $\hat{X}_8 = 3165$). Avrund svaret til en desimal.

Hint:

Formelen for løsning av en andregradslikning på formen $ax^2 + bx + c = 0$ er gitt ved¹:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

d)(12.5%) Anta logistikkavdelingen forenkler verden og sier at de har en *konstant* etterspørsel på 3000 iphoner per uke. De har estimert følgende merkostnader forbundet med innkjøp:

	Kost	Kostnad(NOK)
Årlig lagerrente		0.05
Bestillingskostnad		100 000
Innkjøpspris pr iphone		2000

Avdelingen har bestemt seg for å beregne optimal ordrestørrelse.

- (2.5%) Hvilken formel bør avdeligen benytte for beregning av optimal ordrestørrelse. Skriv opp formelen og forklar *kort* hva hver datastørrelse står for.
- (2.5%) Beregn optimal ordrestørrelse. Bruk formelen fra oppgave 1.d.i.
- (2.5%) Hva er totale bestillingskostnader pluss lagerkostnader pr. uke? Avrund til nærmest heltall. Hva er omløpstiden på lageret²?
- (2.5%) Hvor stor prosent utgjør bestillingskostnader pluss lagerkostnader i forhold til totale ukentlig kostnader. Avrund svaret til to desimaler.
- (2.5%) Anta Apple gir en rabatt på 0.7% pr. Iphone dersom de bestiller for 12 uker om gangen³. Bestem ved hjelp av beregning hvorvidt logistikkavdelingen bør akseptere tilbudet fra Apple.

¹Denne formelen har dere hatt i faget matematikk MAT100.

²Omløpstiden er tiden det tar fra lageret er fullt til lageret er tomt.

³Dvs. Elkjøp må vente 12 uker før de kan bestille på nytt. Legg merke til at 0.7% er det samme som 7 promille (dvs 0.007).

e) (7.5%) Elkjøp er klar over at antakelsen om konstant etterspørsel faktisk ikke er oppfylt, så de har bestemt seg for å benytte sikkerhetslager og bestillingspunktmodellen for å styre lageret best mulig.

De opererer med en ledetid på 20 dager. I tillegg ønsker de at sannsynligheten for at de ikke skal få stockout er 99%, som svarer til en sikkerhetsfaktor på 2.33. For å få til dette, må de ha et sikkerhetslager som tar høyde for variasjonen i etterspørselen. Anta at det ukentlige salget er normalfordelt med middelerverdi på 3000 Iphoner og standardavvik på 500 Iphoner pr uke.

- i. (2.5%) Beregn størrelsen på sikkerhetslageret. Avrund til nærmeste heltall.
- ii. (2.5%) Beregn bestillingspunktet. Avrund svaret til nærmeste heltall.
- iii. (2.5%) Anta at for hver bestilling, regnes 5% svinn som Elkjøp leverer tilbake til Apple. Apple tar merkostnaden dette fører til for Elkjøp. Hva blir bestillingspunktet dersom de tar høyde for dette svinnet?

g) (10%) Elkjøp har innsett at antakelsen om konstant etterspørsel ved bruk av EOQ-modellen ikke holder mål. Etterspørselen varierer for mye, og de må istedet benytte matematisk modellering for å bestemme optimale ordrestørrelser.

Elkjøp har i den sammenheng, også gått vekk ifra eksponensiell glatting som prognosemetode, og har istedet utviklet en metode som også tar høyde for faktiske ordrer som ligger inne. Prognosen for de kommende 8 ukene har blitt beregnet til:

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Solgte Iphoner	4000	4500	5400	4000	3000	5000	3800	5100

Estimert lagerkostnad er 10 kroner pr uke pr iPhone, mens bestillingskostnaden er 100 000. Initielt lager, sluttlager samt sikkerhetslager er allerede lagt inn i tallene fra prognosen over, så vi kan anta at alle disse størrelsene er null.

Tips: For alle deloppgavene under anbefales det at man bruker indeksnotasjon. Selv om det ikke er et krav, kan dere spare mye tid.

- i. (2.5%) Definer hvilke data vi har i modellen.
- ii. (2.5%) Definer hvilke variabler vi har i modellen.
- iii. (2.5%) Uttrykk målfunksjonen i problemet (bestillingskostnader pluss lagerkostnader).
- iv. (2.5%) Uttrykk føringene i problemet (lagerbalanse, logisk føring).

h) (17.5%) Logistikkgruppa ved Elkjøp har bestemt seg for å løse optimeringsmodellen fra oppgave g) ved hjelp av Wagner-Wihtins algoritme.

- i. (5%) Bruk Wagner-Wihtin algoritmen og beregn optimale kostnader (bestillingskostnader pluss lagerkostnader). Benytt horisontteoremet hvor det er mulig.
- ii. (2.5%) Bestem den optimale bestillingsplanen, optimale bestillingsstørrelser og optimale lagerkvanta.
- iii. (5% vanskelig) I den optimale løsningen har vi bestilling i uke 6. Bestem hva etterspørselen i uke 5 må reduseres til for at det blir optimalt at bestillingen i uke 6 flyttes til uke 7 i stedet.
- iv. (2.5%) Anta Apple har en øvre grense for hvor mange Iphoner som kan bestilles pr. bestilling på 10 000 Iphoner. Utvid problemet slik at denne føringen er oppfylt.
- v. (2.5%) Er løsningen du fant i oppgave 1.h.i. og 1.h.ii. fremdeles gyldig med den nye føringen fra oppgave h.iv.? Begrunn svaret! Hvilket kjent teorem ved Wagner-Within algoritmen er ikke nødvendigvis oppfylt? Bestem selv en ny gyldig⁴ løsning. Oppgi kun bestillingsstørrelsene i svaret⁵.

⁴Dvs. en bestillingsplan som oppfylder føringen på 10 000 Iphoner fra Apple.

⁵Dvs. hvor mange Iphoner vi bestiller hver uke.

Oppgave 2 (35%): (MPS og MRP og sekvensiering)

Stokke AS er en svært tradisjonell produsent av barneutstyr, grunnlagt på Sunnmøre i Møre og Romsdal. Vi skal se på et av deres nyeste produkt: ”Stokke Steps Chair”.



Figur 1: ”Stokke Steps Chair”

Som vist i figur 1, kan kunden velge å kjøpe et matbrett som tilbehør.

Det første vi skal gjøre er å utarbeide master planen for de neste 10 ukene for ”Stokke Steps Chair” - stolen, ordrene med tilbehør er inkludert i tallene.

Vi har gitt følgende utgangspunkt:

Uke	init	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prognose		450	380	420	400	370	250	400	500	350	410
Ordrer		420	470	540	350	400	200	430	100	0	0
Lagernivå											
Ledig-til-reservasjon											
MPS											

De opererer med en produksjonstid på 2 uker per serie, hvor hver serie er på 1500 ”Stokke Steps Chair” - stoler. De har to ukers fryst sone, 6 ukers fleksibel sone og 2 ukers fri sone. Anta at det er initielt 100 stoler på lager, og at det kommer inn 1500 stoler til uke 1 (MPS).

a) (5%)

- i. (2.5%) Beregn masterplanen for ”Stokke Steps Chair” - stolen, under policyen om at de bestiller en ny seriestørrelse fra produksjonen hver gang de er på vei til å gå tomt på lager.
- ii. (2.5%) Hva menes med Ledig-Til-Reservasjon?. Gi en kort forklaring. Gi et kort eksempel på hvordan Ledig-Til-Reservasjon kan brukes i praksis.

b) (22.5%) Du skal nå gjøre MRP-beregninger for ”Stokke Steps Chair” stolen. BOM-strukturen sier at en ”Stokke Steps Chair” består av:

- En ryggstøtte
- Fire bein
- Sete
- Skruer
- Matbrett (tilbehør)

For hvert bein kreves to skruer.

Setet krever 4 skruer.

Matbrettet krever 2 skruer.

Stokke har estimert at 40% av alle ordrene inkluderer matbrettet (tilbehøret).

Stokke har samlet opp all nødvendig informasjon for å gjennomføre MRP-beregningene for komponentene i tabellen under:

Komponent	Ledetid	Seriestørrelse	På lager	Mottak	Sikkerhetslager
Ryggstøtte	3	Lot-For-Lot	-	-	0
Bein	5	5000	3500	5000 i uke 1	0
Sete	1	2000	0		0
Matbrett	3	1000	0	1000 i uke 1	100
Skruer	2	30000	22000		5000

- (2.5%) Tegn opp produktstrukturen (BOM) for ”Stokke Steps Chair” stolen.
- (20%) Beregn MRP-størrelsene for alle komponentene. Ta masterplanen som utgangspunkt. Ta høyde for ledetiden for MPS-størrelsene.⁶

Beregningene fylles inn i tabellen i vedlegg A som finnes i to eksemplarer. Kun ett eksemplar skal leveres inn, det andre er ment som kladd. Husk å skrive studentnummer på arket.

⁶MPS-størrelsene fra masterplanen viser når stolene skal være ferdig produsert. Husk at produksjonstiden er 2 uker.

c) (7.5%) Vi skal nå se på selve produksjonen av matbrettene og ryggstøttene for ”Stokke Steps Chair” stolen.

Ryggstøttene og matbrettene produseres med samme maskiner - to maskiner i serie - si maskin 1 og maskin 2.

Vi har to ordrer som skal prosesseres gjennom maskinene - en ordre på 1500 ryggstøtter, som skal være ferdig senest i uke 5 og en ordre på 1000 matbrett som skal være ferdig senest i uke 6. Anta vi starter i uke 1.

Begge ordrene må bearbeides først på stasjon 1, deretter på stasjon 2, og de kan ikke prosesseres samtidig. Det brukes en dag i [omstillingstid](#)⁷ på maskin 1.

Vi har følgende bearbeidingstider for ordrene:

Komponent	Maskin 1	Maskin 2
Ryggstøtte	2 dager	1 dag
Matbrett	1 dag	3 dager

i. Fyll ut gantt-diagrammene i vedlegg B for de to mulige rekkefølgene.

Gantt-diagrammene finnes i to eksemplarer. Kun ett eksemplar skal leveres inn, det andre er ment som kladd. Husk å skrive studentnummer på arket.

ii. Bestem hvilken rekkefølge som gir minst forsinkelse.

iii. Bestem makespan for de to rekkefølgene.

iv. Bestem gjennomsnittlig gjennomløpstid for de to rekkefølgene.

⁷Tiden det tar for å bytte fra ryggstøtte til matbrett eller vice versa.

Vedlegg A

Studentnr: _____

MRP-plan

Uke	Init	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ryggstøtte											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Bein											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Sete											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Matbrett											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Sikkerhetslager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Skruer											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Sikkerhetslager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											

Vedlegg A

KLADD

MRP-plan

Uke	Init	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ryggstøtte											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Bein											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Sete											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Matbrett											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Sikkerhetslager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											
Skruer											
Bruttobehov											
Planlagt mottak											
Lager											
Sikkerhetslager											
Nettobehov											
Planlagt ordre											

Vedlegg B

Studentnr: _____

Gantt diagrammer:

kommentarer:

- R står for ordren med ryggstøtter
- M står for ordren med matbrett
- Tallene står for antall dager siden start
- Avgrens hver operasjon med en vertikal linje og skriv over hver operasjon bokstavene "R" eller "M" dersom det er ordre R eller ordre M som prosesseres henholdsvis.

Rekkefølge RM								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maskin 1								
Maskin 2								

Rekkefølge MR								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maskin 1								
Maskin 2								

Vedlegg B

KLADD

Gantt diagrammer:

kommentarer:

- R står for ordren med ryggstøtter
- M står for ordren med matbrett
- Tallene står for antall dager siden start
- Avgrens hver operasjon med en vertikal linje og skriv over hver operasjon bokstavene "R" eller "M" dersom det er ordre R eller ordre M som prosesseres henholdsvis.

Rekkefølge RM								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maskin 1								
Maskin 2								

Rekkefølge MR								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Maskin 1								
Maskin 2								

Testeksamen 2016

TESTeksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsplanlegging

Eksamensdag	:	Våren 2016
Tid	:	09:00 – 13:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	:	Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	:	Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator med tot minne
Antall sider inkl. forsiden	:	XX (1 side)
Målform	:	Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Kladdark skal ikke leveres inn. De blir ikke sensurert.**

1) (prognostisering) (20%)

Malingsprodusenten **Jotun** har i magasinet Kapital, blitt vurdert som Norges 49ende største bedrift i Norge.

Jotun AS er et verdensomspennende konsern med over 63 bedrifter under seg og er representert i over 100 land.

I Norge har Jotun sitt hovedsete i Sandefjord hvor en stor produksjonsbedrift er lokalisert, se figur 1. Jotun distribuerer produktene sine via forhandlere rundt omkring i Norge.



Figur 1: Jotun i Sandefjord

Vi skal i denne oppgaven utarbeide strategiske planer for 2016 for fire **aggregerte** produktfamilier:

1. Interiørprodukter (LADY, SENS)
2. Utendørsprodukter (DRYGOLIN, OPTIMAL, TREBITT)
3. Båtprodukter (JOTUN YACHTING)
4. Farbikkmalt kledning (DRYGOLIN, OPTIMAL, TREBITT (malt kledning))

Jotuns logistikkavdeling har for 2016 allerede utarbeidet **12 måneders** prognoser for familie 2), 3) og 4 hhv, mens de mangler en prognose for interiørproduktene.¹:

Måned 2016	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Interiør	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Utendørs	10	20	30	60	80	100	70	50	30	10	10	5
Båtprodukter	1	2	2	3	12	15	14	10	4	2	1	1
Fabrikkmalt	5	6	3	8	5	5	4	2	3	5	4	5

Som nyutdannende konsulenter i logistikk, skal vi nå hjelpe logistikkavdelingen med å utarbeide prognosen for interiørfamilien.



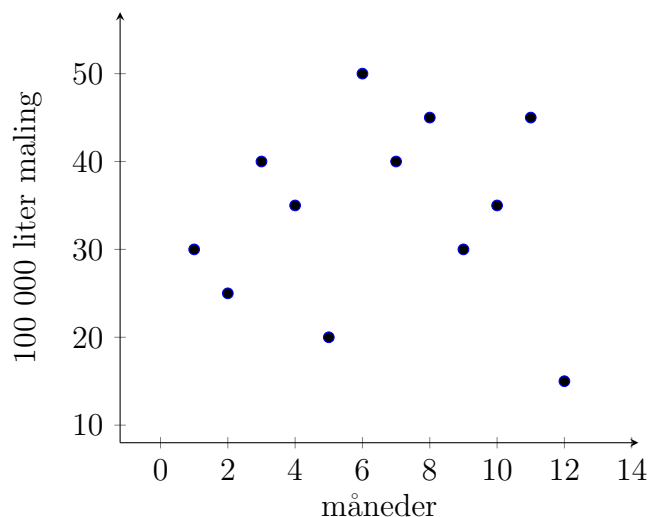
Figur 2: Jotuns ekstremværsprodukt

¹Alle tall er oppgitt i 100 000 liter.

Vi har fått tilgang til Jotuns salgshistorikk for 2015:

Måned 2015	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Interiør	30	25	40	35	20	50	40	45	30	35	45	15

Historikken er plottet som grafen i figur 3.



Figur 3: Historisk plott

- a) (2.5%) Hvilket mønster viser salgshistorikken for interiørfamilien for 2015? Begrunn svaret.
- b) (2.5%) Jotun har bestemt at vi skal bruke metoden ”eksponensiell glatting” for å bestemme prognosen for 2016. De vurderer to forskjellige glattingsparametere: $\theta_1 = 0.3$ eller $\theta_2 = 0.7$.

Etter et intervju med produksjonsplanleggerne ved Jotun, kommer det frem at de foretrekker en **jevn** produksjon.

Hvilken glattingsparameter vil du foreslå til gruppa? Begrunn svaret.

- c) (10%) Finn prognosene for de 12 månedene i 2016 for interiørfamilien basert på eksponensiell glatting. Bruk glattingsparameteren du valgte ifra oppgave 1b). Avrund svaret til nærmeste heltall.
- d) (5%) Beregn MAD, dvs gjennomsnittlig absolutt avvik, for prognosen som du fant i oppgave 1c).

2) (aggregert planlegging) (20%)

Med de prognostiserte etterspørselstallene for de fire produktfamiliene til Jotun på plass , er vi nå klar for å beskrive Jotuns [aggregerte](#) planleggingsproblem.

Anta at etterspørselen for interiørfamilien er konstant lik 32 gjennom hele 2016.

Hovedmålet er å planlegge månedslige produksjons- og lagerkvanta for de fire familiene, slik at summen av totale lager- og overtidskostnader minimeres.

Lagerkostnadene for de fire familiene er forskjellige siden salgsverdien pr liter maling varierer mellom familiene. Vi har følgende data:

Familie	interiør	Utendørs	Båt	Fabrikk
Salgsverdi	50	100	80	120
Bearbeidingstid pr 100 000 liter (timer)	15	26	40	60
Regulære produksjonstimer pr måned	720	960	240	240

Lagerkostnaden beregnes kun på bakgrunn av kapitalkostnaden. Økonomiavdelingen ved Jotun opererer med en årlig rentesats på 10%. Initielt- og sluttlager settes lik null.

På grunn av kvalitetsforskjeller mellom familiene, har de forskjellig bearbeidingstider.

At hver familie har et gitt antall regulære produksjonstimer pr måned, kommer av at Jotun har spesifikke blandingsmaskiner for hver familie.²

Bedriften har også mulighet til å benytte 100 timer overtid pr. familie pr. måned.

Kostnaden for en regulær produksjonstime er estimert til 10000 kroner, mens overtidskostnadene [graderes](#) ifølge regelen: 50% overtidsbetaling de første 75 timene og 100% overtidsbetaling de siste 25 timene.

²En [regulær](#) produksjonstime representerer en [vanlig](#) arbeidstime, og gjennomføres uavhengig om det faktisk produseres noe eller ikke. Kostnaden er derfor en [fastkostnad](#), og inkluderes derfor ikke i modellen.

- a) (2.5%) Beregn månedslige lagerkostnader pr 100 000 liter maling for de fire familiene. Avrund til nærmeste hele 100.
- b) (5%) Sjekk om det er nok timer totalt for hver familie til å produsere all etterspørsel over alle 12 månedene. Inkluder muligheten for overtidproduksjon.
- c) (2.5%) Definer alle data i modellen.
- d) (5%) Definer alle variablene i modellen.³
- e) (2.5%) Beskriv målfunksjonen i modellen.⁴
- f) (2.5%) Beskriv alle føringene i modellen.
- g) (2.5%) Siden interiørfamilien bruker eksponensiell glatting, har vi konstant etterspørsel lik 32 pr måned for denne familien.

Logistikkgruppen er likevel klar over at salget varierer for denne familien. For å ta høyde for denne variasjonen, bestemmer de seg for å benytte sikkerhetslager.

Sikkerhetslageret settes lik MAD som du fant i oppgave 1d).

Utvid modellen slik at sikkerhetslageret er inkludert.

³Tips: To typer overtidskostnader betyr to forskjellige overtidsvariabler.

⁴Summen av totale lager-og overtidskostnader.

3) (master produksjonsplanlegging - EOQ) (20%)

Logistikkgruppa ved Jotun har nå utarbeidet en aggregert (strategisk) plan som de ønsker å realisere så godt som mulig gjennom master produksjonsplanlegging.

Vi antar at de har utarbeidet **disaggregerte** prognoser for hver malingsstype innen de fire kategoriene. Det mest populære merket innen interiørfamilien er **Lady**. Anta at Lady-merket utgjør 50% av den aggregerte etterspørselen for interiørfamilien.⁵

Lady-produktet er igjen delt inn i tre hovedkategorier (etter funksjon, ikke farge):

- **Forberedelsesprodukt** - 10% av aggregert etterspørsel (kategori 1)
- **Toppstrøk** - 60% av aggregert etterspørsel (kategori 2)
- **Grunning** - 30% av aggregert etterspørsel (kategori 3)

Produksjonen av LADY merket foregår på en egen dedikert blandingsmaskin. Når de skal skifte fra å produsere en type til en annen, får de en *omstillingstid*, siden blandingmaskinen må tømmes og renses. Omstillingstiden er kun avhengig av hvilken kategori som har blitt produsert.



Figur 4: Jotuns kjente varemerke Lady

⁵Den aggregerte etterspørselen er oppgitt i oppgave 2) til 32 pr. måned (i antall 100 000 liter).

Logistikkgruppen ønsker å benytte EOQ for å bestemme seriestørrelsene de skal bruke i masterplanleggingen for de tre hovedkategoriene. De har samlet følgende nødvendige data for kategoriene:

LADY kategori	Forberedelsesprodukt	Toppstrøk	Grunning
Omstillingstid i timer	3	5	4
Salgsverdi pr liter	30	80	50

- a) (2.5%) Beregn *ukentlig*⁶ etterspørsel, *ukentlig* lagerkostnad og setupkostnad for de tre LADY-typer. Bruk at en regulær time er estimert til 10000 kroner.⁷
- b) (5%) Beregn EOQ for de tre LADY-typer. Beregn også totale lager- og setupkostnader.⁸ Avrund til nærmeste ti liter.
- c) (2.5%) Beregn lagerets omløpstid for de tre LADY-kategoriene. Oppgi svaret med en desimal.
- d) (10% vanskelig) Siden de tre LADY-kategoriene produseres via samme blandingsmaskin, ønsker de å ta høyde for produksjonskapasiteten.

Anta nå at logistikkgruppa har innsett at produksjonen av LADY-kategoriene har en [produksjonsrate](#).

Anta at blandingsmaskinen som brukes ved produksjon av LADY-kategoriene, har en produksjonskapasitet på 500 000 liter per uke, uavhengig av hvilket produkt som produseres.

Vi skal nå hjelpe logistikkgruppa å planlegge hvor mye av hver kategori som [fast](#) skal produseres hver uke, siden de ønsker samme produksjonsplan hver uke. Målet er at totale kostnader for LADY-kategoriene blir minimert.

⁶Bruk at 1 måned er 4 uker.

⁷Overtid er ikke inkludert i denne analysen.

⁸Dvs. totale kostnader for alle tre typer til sammen.

Vi starter med å definere følgende variabler:

$$P_i = \text{antall liter produsert av kategori } i, i = 1, 2, 3. \text{ pr. uke (produksjonsrate)} \quad (1)$$

For at produksjonsraten skal være stor nok til å oppfylle den ukentlige etterspørselen, krever vi at produksjonsraten er større enn etterspørselsraten.⁹

En kan da vise at den totale kostnaden for kategori er gitt ved:¹⁰

$$C_i = \frac{S_i D_i}{X_i} + \frac{H_i X_i P_i - D_i}{2 P_i}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

Her er:

Data:

$$S_i = \text{setupkostnaden for kategori } i, i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

$$D_i = \text{ukentlig etterspørsel etter kategori } i, i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

$$H_i = \text{ukentlig lagerkostnad pr liter pr uke for kategori } i, i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

$$(6)$$

Variabler:

$$X_i = \text{ordrestørrelse for kategori } i, i = 1, 2, 3 \quad (7)$$

$$P_i = \text{ukentlig produksjonsrate for kategori } i, i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

Skriv opp målfunksjonen og føringene for minimering av totale kostnader for LADY-kategoriene.¹¹

⁹Den ukentlige etterspørselen fant dere i oppgave 3 a). Bruk helst symbol for sitedet for tallverdier.

¹⁰Anta at de vanlige antakelsene for EOQ-modellen er oppfylt.

¹¹Opgaven er ikke så lang hvis man forstår hva man skal gjøre.

4) (master produksjonsplanlegging - Wagner-Within) (20%)

Vi skal nå se på masterplanleggingen til et annet produkt hos Jotun : ”Drygolin Ultimat”

Drygolin Ultimat er et utendørsprodukt med følgende etterspørsel de neste 8 ukene (i 100 000 liter):

Måned	1	2	3	4	5	6	7	8
Etterspørsel	5	8	10	14	20	25	5	2

Anta initielt lager og startslager er null. Lagerkostnaden pr 100 000 liter er satt til 8000 per uke, mens omstillingskostnaden er satt til 100 000.



Figur 5: Jotuns ekstremværsprodukt

a) (10%) Finn en optimal produksjonsplan ved hjelp av Wagner-Withins algoritme. Skriv opp både totale kostnader, produksjonskvanta og lagerkvanta.

b) (2.5%) Anta logistikkgruppen bestemmer seg for å ha et ukentlig sikkerhetslager på 100 000 liter.¹²

Er Wagner-Within algoritmen fremdeles gyldig? Begrunn svaret!

c) (7.5%) En måte vi kan prøve å løse Wagner-Wihtin modellen med sikkerhetslageret vi har fra oppgave 4b), er å øke etterspørselen i hver uke med 1 (sikkerhetslageret), og deretter løse problemet på nytt.

Hvis Wagner-Within algoritmen nå gir samme optimale produksjonsuker¹³, så er løsningen optimal med sikkerhetslager inkludert.

Sjekk ved regning at Wagner-Within algoritmen gir samme optimale produksjonsuker når vi øker etterspørselen i hver uke med 1 enhet (100 000 liter).¹⁴ Regn ut ny optimal kostnad.

¹²Dvs. en enhet når enheten er 100 000.

¹³En produksjonsuke er en uke hvor det forekommer produksjon.

¹⁴Å regne ut Wagner-Within algoritmen på nytt gir rett svar, men denne oppgaven er mulig å løse ved hjelp av enkle logiske betraktninger og beregninger fra beregningene gjort i oppgave 4a).

5) (MRP-planlegging) (20%)

Vi skal i denne oppgaven fortsette fra oppgave 3) og se videre på utendørsproduktet: ”Drygolin Ultimat”.

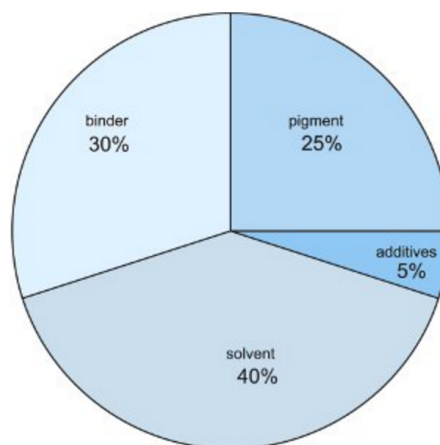
Anta vi har følgende [master produksjonsplan](#):

Måned	1	2	3	4	5	6	7	8
Planlagt produksjon	15	0	11	16	21	35	0	0

Maling generelt består hovedsaklig av følgende fire standardingredienser:

- Bindemiddel - det som får malingen til å sitte fester seg (binder).
- Pigmenter - det som gir malingen farge (pigment).
- Løsemiddel - det som gir malingen konsistens (solvent).
- Hjelpstoffer - ulike stoffer som gir ekstra egenskaper (additives).

Sammensetningen av disse fire standardingrediensene, utgjør selve malingen, som vist i figur 6.



Figur 6: Typisk fordeling av ingredienser i maling

I Drygolin Ultimat, bruker Jotun et helt spesielt bindemiddel, som er hovednøkkelen for hvorfor Drygolin er så slitesterk.

Vi skal i denne oppgaven planlegge produksjonen av dette bindemiddelet.

Siden oppskriften på Drygolin Ultimat er en godt bevart hemmelighet, må vi nøye oss med kodenavn. Vi kaller derfor bindemiddelet i Drygolin Ultimat for komponent X.

Vi får nå vite at Drygolin Ultimat inneholder 30% av komponent X.

Komponent X består igjen av en blanding av to subkomponenter, si komponent A og komponent B. Blandingen er fordelt 40% av A og 60% av B

- a) (2.5%) Tegn opp BOM-strukturen til komponent X.

- b) (2.5%) Regn ut etterspørselen for komponent X fra masterplanen til Drygolin Ultimat. Regn med en ukes ledetid. Avrund til nærmeste heltall.

- c) (5%) Regn ut MRP-tabellen for komponent X. Anta et planlagt mottak på 24 i uke 2 og null initielt lager. Seriestørrelsen for komponent X er 24 og ledetida er 2 uker. Bruk tabellen i vedlegg Ad, og lever med studentnummer påført.

- d) (5%) Regn ut MRP-tabellen for komponent A. Anta initielt lager er 20 og ingen uke har planlagt mottak. Seriestørrelsen for komponent A er 40 og ledetida er 3 uker. For komponent A holdes det et sikkerhetslager på 5. Bruk tabellen i vedlegg A, og lever med studentnummer påført.

- e) (5%) Regn ut MRP-tabellen for komponent B. Anta initielt lager er 22 og ingen uke har planlagt mottak. Seriestørrelsen for komponent B er 40 og ledetida er 1 uke. For komponent A holdes det et sikkerhetslager på 10. Bruk tabellen i vedlegg A, og lever med studentnummer påført.

Vedlegg A

Studentnr: _____

MRP-plan

Uke	Init	1	2	3	4	5	6	7	8
Komponent X									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent A									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Sikkerhetslager									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent B									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Sikkerhetslager									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									

Hovedeksamen 2016

Eksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsplanlegging

(Molde, Kristiansund og Gjøvik)

Eksamensdag	: 9. mai 2016
Tid	: 09:00 – 14:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	: Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator med tot minne
Antall sider inkl. forsiden	: XX (1 side)
Målform	: Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Kladdark skal ikke leveres inn. De blir ikke sensurert.**

1) (prognostisering) (20%)

Malingsprodusenten **Jotun** har i magasinet Kapital, blitt vurdert som Norges 49ende største bedrift i Norge.

Jotun AS er et verdensomspennende konsern med over 63 bedrifter under seg og er representert i over 100 land.

I Norge har Jotun sitt hovedsete i Sandefjord hvor en stor produksjonsbedrift er lokalisert, se figur ???. Jotun distribuerer produktene sine via forhandlere rundt omkring i Norge.

Vi skal i denne oppgaven utarbeide strategiske planer for 2016 for fire **aggregerte** produktfamilier:

1. Interiørprodukter (LADY, SENS)
2. Utendørsprodukter (DRYGOLIN, OPTIMAL, TREBITT)
3. Båtprodukter (JOTUN YACHTING)
4. Farbikk malt kledning (DRYGOLIN, OPTIMAL, TREBITT (malt kledning))



Figur 1: Jotun i Sandefjord

Jotuns logistikkavdeling har for 2016 allerede utarbeidet **12 måneders** prognoser for familie 1), 2) og 3 hhv, mens de mangler en prognose for fabrikkmaltsfamilien.¹:

Måned 2016	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Interiør	30	25	40	35	20	50	40	45	30	35	45	15
Utendørs	10	20	30	60	80	100	70	50	30	10	10	5
Båtprodukter	1	2	2	3	12	15	14	10	4	2	1	1
Fabrikkmalt	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Som nyutdannende konsulenter i logistikk, skal vi nå hjelpe logistikkavdelingen med å utarbeide prognosen for fabrikkmaltsfamilien.

Siden fabrikkmaltsfamiliens salgshistorikk for 2015 viser et **irregulært** mønster, har de utarbeidet prognoser ved hjelp av eksponensiell glatting.

Siden de er usikker på hvilken glattingsparameter de skal bruke, har de valgt **to** parametre θ_1 og θ_2 . Tabellen under viser **feilestimatene** man får for 2015 data ved bruk av eksponensiell glatting med glattingsparameter θ_1 og θ_2 henholdsvis.

Måned 2015	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Feil $EG(\theta_1)$	1	-2.8	4.4	2.1	-0.4	-1.1	-2.2	0.6	2.1	-0.6	0.9	
Feil $EG(\theta_2)$	1	-2.2	3.2	-0.4	-0.3	-1.3	-3	-1.4	0.9	-0.3	0.8	



Figur 2: Jotuns ekstremværsprodukt

¹Alle tall er oppgitt i 100 000 liter.

- a) (10%) Velg et fornuftig måltall² og beregn verdiene for prognosene med glattingsparameter θ_1 og θ_2 henholdsvis. Hvilken glattingsparameter vil du anbefale at Jotun bruker? Begrunn svaret!
- b) (5% vanskelig) Anta Jotun velger å bruke θ_2 som glattingsparameter.

De får da en prognose for de 12 neste månedene lik 4.4.

Bestem verdien på glattingsparameteren θ_2 , når vi får oppgitt at siste observasjon er, $X_{12} = 5$. Avrund svaret til en desimal.

- c) (5%) Anta tre måneder har gått og vi har fått nye observasjoner

Måned 2016	1	2	3
Salg	7	6	4

Beregn ny prognose for måned 4 i 2016 ved hjelp av eksponensiell glatting med glattingsparameter 0.8.

²Dvs. enten MFE, MAD eller MSE.

2) (aggregert planlegging) (20%)

Med de prognostiserte etterspørselstallene for de fire produktfamiliene til Jotun på plass , er vi nå klar for å beskrive Jotuns [aggregerte](#) planleggingsproblem.

Anta at etterspørselen for fabrikkmaltsfamilien er konstant lik 4.4 gjennom hele 2016.

Hovedmålet er å planlegge månedslige produksjons- og lagerkvanta for de fire familiene, slik at summen av totale kostnader minimeres.

Lagerkostnadene for de fire familiene er forskjellige siden salgsverdien pr liter maling varierer mellom familiene. Bearbeidingstidene er også forskjellige. Vi har følgende data:

Familie	interiør	Utendørs	Båt	Fabrikk
Lagerkostnad pr 100 000 liter pr måned	40 000	80 000	70 000	100 000
Bearbeidingstid pr 100 000 liter (timer)	15	26	40	60

Starts- og sluttlager settes lik 0 for alle familiene.

Jotun opererer med [to produksjonsavdelinger](#), si avdeling 1 og avdeling 2.

På avdeling 1 produseres interiør- og utendørsfamilien. På avdeling 2 produseres båt- og fabrikkmaltsfamilien.

Avdeling 1 har to skift på 10 ansatte på hvert skift, mens avdeling 2 har 1 skift med 5 ansatte.

Et skift på avdeling 1 gir 960 produksjonstimer pr. måned, mens et skift på avdeling 2 gir 480 produksjonstimer³.

³Hvorfor antall produksjonstimer kan bli så høyt kommer av at Jotun opererer flere blandingsmaskiner samtidig på hver avdeling.

Avdeling 1 har mulighet til å benytte maksimalt 300 produksjonstimer med overtidssarbeid, mens avdeling 2 kan maksimalt benytte 100 produksjonstimer med overtid.⁴

Kostnaden for en produksjonstime under et skift er estimert til 1000 kroner pr. ansatt pr. time, mens kostnaden for en produksjonstime med overtidssarbeid er estimert til 1800 pr. ansatt pr. time.

- a) (5%) Sjekk om avdeling 1 har nok kapasitet⁵ til å dekke etterspørselen i hver måned, frem til måned 8.

- b) (2.5%) Definer alle data i modellen.

- c) (2.5%) Definer alle variablene i modellen.

- d) (2.5%) Beskriv målfunksjonen i modellen.⁶

- f) (2.5%) Beskriv alle føringene i modellen.

- e) (5% vanskelig) Personalavdelingen ved Jotun ønsker å inkludere muligheten for å benytte et tredje skift på 10 nye ansatte på avdeling 1.

Dersom et tredje skift benyttes, forsvinner muligheten for overtidssproduksjon.

Utvid modellen slik at beslutningen om å benytte et tredje skift for hver måned er inkludert.⁷

⁴En produksjonstime med overtidssarbeid betyr en produksjonstime som gjennomføres utenom er skift.

⁵Dvs. antall produksjonstimer og overtidstimer.

⁶Summen av totale lager- og overtidsskostnader.

⁷Å utvide modellen, betyr å oppdatere eller legge til eventuelle nye data, variabler og føringar samt oppdatere målfunksjonen.

3) (master produksjonsplanlegging - EOQ) (20%)

Logistikkgruppa ved Jotun har nå utarbeidet en aggregert (strategisk) plan som de ønsker å realisere så godt som mulig gjennom master produksjonsplanlegging.

Vi antar at de har utarbeidet **disaggregerte** prognoser for hver malingstype innen de fire kategoriene. Det mest populære merket innen interiørfamilien er **SENS**. Anta at Jotun bruker en **konstant ukentlig** etterspørsel lik 4 for SENS merket.

SENS-produktet er igjen delt inn i tre hovedkategorier (etter funksjon, ikke farge):

- **Forberedelsesprodukt** - 20% av aggregert etterspørsel (**kategori 1**)
- **Toppstrøk** - 50% av aggregert etterspørsel (**kategori 2**)
- **Grunning** - 30% av aggregert etterspørsel (**kategori 3**)

Setupkostnaden består av to bidrag: en fastkostnad på grunn av administrative kostnader lik 5000 kroner samt 10000 kroner pr. omstillingstime.⁸

Logistikkgruppen ønsker å benytte EOQ for å bestemme seriestørrelsene de skal bruke i masterplanleggingen for de tre hovedkategoriene. De har samlet følgende nødvendige data for kategoriene:

SENS kategori	Forberedelsesprodukt	Toppstrøk	Grunning
Omstillingstid i timer	2	4	3
Salgsverdi pr liter	40	60	50



Figur 3: Jotuns kjente varemerke Sens

⁸En omstillingstid er en time brukt for å klargjøre blandingsmaksinen for et nytt produkt. Omstillingstiden er kun avhengig av hvilken kategori som har blitt produsert.

- a) (2.5%) Beregn *ukentlig*⁹ etterspørsel, lagerkostnad pr. 100 000 liter pr. uke og setupkostnad for de tre SENS-produktene. Anta at årlig rentesats er 10%.
- b) (5%) Beregn EOQ for de tre SENS-kategoriene. Beregn også totale lager- og setupkostnader.¹⁰ Avrund til nærmeste 1000.
- c) (2.5%) Beregn lagerets omløpstid for de tre LADY-kategoriene. Oppgi svaret med en desimal.
- d) (10%) Anta nå at logistikkgruppa har innsett at produksjonen av SENS-kategoriene har en ukentlig *produksjonsrate*.¹¹

Anta videre at de har satt produksjonsraten for kategori 2 til $P_2 = 300000$ liter pr. uke.

Optimal ordrestørrelse X^* (justert EOQ) er da gitt ved formelen:

$$X^* = \sqrt{\frac{2S_2D_2}{H_2(1 - \frac{D_2}{P_2})}} \quad (1)$$

hvor

$$S_2 = \text{setupkostnaden for kategori 2} \quad (2)$$

$$D_2 = \text{ukentlig etterspørsel for kategori 2} \quad (3)$$

$$H_2 = \text{ukentlig lagerkostnad pr 100 000 liter pr uke for kategori 2} \quad (4)$$

Beregn den nye omløpstiden for kategori 2 når vi benytter optimal ordrestørrelse fra likning (??).

Hint: Omløpstiden består av to ledd: en tid hvor produksjon foregår og lageret fylles jevnt opp til X^* og deretter en tid hvor lageret tømmes til null uten at produksjons forekommer.

⁹Bruk at 1 måned er 4 uker.

¹⁰Dvs. totale kostnader for alle tre kategoriene til sammen.

¹¹Produksjonsrate betyr hvor mange liter maling som produseres pr. uke.

4) (master produksjonsplanlegging - Wagner-Within) (20%)

Vi skal nå se på masterplanleggingen til et annet produkt hos Jotun : "Drygolin Ultimat"

Drygolin Ultimat er et utendørsprodukt med følgende etterspørsel de neste 8 ukene (i 100 000 liter):

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Etterspørsel	2	5	10	8	20	8	6	2

Anta initielt lager er 4 og sluttlager er 3. Lagerkostnaden pr 100 000 liter er satt til 5000 per uke, mens omstillingskostnaden er satt til 100 000.



Figur 4: Jotuns ekstremværsprodukt

a) (10%) Finn en optimal produksjonsplan ved hjelp av Wagner-Withins algoritme. Skriv opp både totale kostnader, produksjonsplan ($C_{xxxxxxxx}$), produksjonskvanta og lagerkvanta.

Hint: Siden startslageret er større enn etterspørselen i første periode, er optimal løsning av delproblem 1 lik 0, dvs. hverken produksjon eller overlagering forekommer.

b) (5%) Anta Jotun får inn en ny ordre i uke 8.

Hvor stor må ordren være for at det blir optimalt å ha produksjon i uke 8?

c) (5%) Anta at Jotun har en maksimal produksjonsrate på 2.5 millioner liter Dryoglin Ultimat i uken.

Er løsningen fra Wagner-Within i oppgave 4a) fremdeles gyldig? Begrunn svaret!

Hvilken observasjon ved Wagner-Within algoritmen er ikke oppfylt når produksjonskapasitet inkluderes i modellen? Begunn svaret!

Hva blir ny optimal løsning når produksjonskapasiteten inkluderes? Oppgi kun endringene i forhold til løsningen ifra oppgave 4a).

Hint: Det finnes en ny løsning som har dominante produksjonsplaner.

5) (MRP-planlegging) (20%)

Vi skal i denne oppgaven fortsette fra oppgave 3) og se videre på utendørsproduktet: "Drygolin Ultimat".

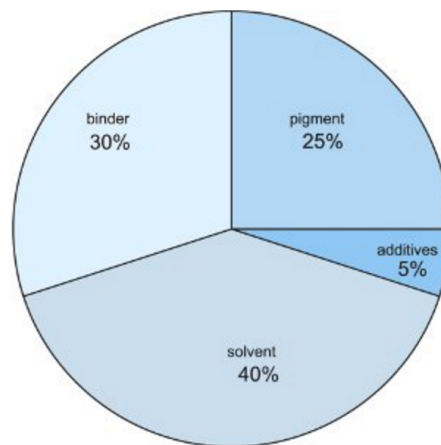
Anta vi har følgende master produksjonsplan:

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Planlagt produksjon	0	10	15	30	0	40	0	0

Maling generelt består hovedsaklig av følgende fire standardingredienser:

- Bindemiddel - det som får malingen til å feste seg (binder).
- Pigmenter - det som gir malingen farge (pigment).
- Løsemiddel - det som gir malingen konsistens (solvent).
- Hjelpstoffer - ulike stoffer som gir ekstra egenskaper (additives).

Sammensetningen av disse fire standardingrediensene, utgjør selve malingen, som vist i figur ??.



Figur 5: Typisk fordeling av ingredienser i maling

I Drygolin Ultimat, bruker Jotun to hemmelige løsemidler, som gir Drygolin sin fine konsistens. Vi skal i denne oppgaven planlegge produksjonen av disse løsemidlene. Anta først at Drygolin produseres "Just-In-Time", dvs ledetiden er null.

Siden oppskriften på Drygolin Ultimat er en godt bevart hemmelighet, må vi nøye oss med kodenavn. Vi kaller derfor løsemidlene komponent A og komponent B.

Vi får nå vite at Drygolin Ultimat inneholder 10% av komponent A og 30% av komponent B.

Komponent A består av en blanding av to subkomponenter, si komponent C og komponent D. Blandingen er fordelt 50% C og 50% D. Komponent B består av en blanding av to subkomponenter, komponent C igjen og en ny komponent E. Blandingen er fordelt 80% C og 20% E.

a) (2.5%) Tegn opp BOM-strukturene til komponent A og B.

b) (17.5%) Regn ut MRP-tabellene for komponent A, B, C, D og E. Anta vi har følgende data:

Komponent A: Initielt på lager er 4. Ingen planlagt mottak. Seriestørrelsen for komponent A er 4 og ledetida er 1 uke. Ikke noe sikkerhetslager.

Komponent B: Initielt på lager er 0. Planlagt mottak er 10 i uke 1. Seriestørrelsen for komponent B er Lot-For-Lot og ledetida er 2 uker. Ikke noe sikkerhetslager.

Komponent C: Initielt på lager er 5. Ikke noe planlagt mottak. Seriestørrelsen for komponent C er 10 og ledetida er 1 uke. Sikkerhetslager på 5.

Komponent D: Initielt på lager er 2. Planlagt mottak 5 i uke 2. Seriestørrelsen for komponent D er 5 og ledetida er 1 uke. Ikke noe sikkerhetslager.

Komponent E: Initielt på lager er 1. Ikke noe planlagt mottak. Seriestørrelsen for komponent E er 1 og ledetida er 1 uke. Ikke noe sikkerhetslager.

Beregningene fylles inn i tabellen i vedlegg A som finnes i to eksemplarer. Kun ett eksemplar skal leveres inn, det andre er ment som kladd. Husk å skrive studentnummer på arket.

Vedlegg A

Studentnr: _____

MRP-plan

Uke	Init	1	2	3	4	5	6	7	8
Komponent A									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent B									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent C									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Sikkerhetslager									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent D									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent E									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									

Vedlegg A

KLADD

MRP-plan

Uke	Init	1	2	3	4	5	6	7	8
Komponent A									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent B									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent C									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Sikkerhetslager									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent D									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									
Komponent E									
Bruttobehov									
Planlagt mottak									
Lager									
Nettobehov									
Planlagt ordre									

Kontinuasjonseksamen 2016

Eksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsstyring

Eksamensdag	:	Torsdag 5. jan. 2017
Tid	:	09:00 – 14:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	:	Molde: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	:	Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator med tomt minne
Antall sider inkl. forsiden	:	13
Målform	:	Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Kladdark skal ikke leveres inn. De blir ikke sensurert.**
- **Det er totalt 4 oppgaver.**

Oppgave 1: (prognostisering, 25 %)

Malingsprodusenten Jotun er en industribedrift som produserer maling og pulverlakk. Jotun er et verdensomspennende konsern med over 63 bedrifter under seg og er representert i over 100 land.

Hovedsete til konsernet ligger i Sandefjord hvor en stor produksjonsbedrift er lokalisert, se figur ???. Jotun distribuerer produktene sine via forhandlere rundt omkring i Norge.

Vi skal i denne oppgaven utarbeide strategiske planer for 2016 for fire **aggregerte** produktfamilier:

1. Interiørprodukter, (familie 1), (LADY, SENS)
2. Utendørsprodukter, (familie 2), (DRYGOLIN, OPTIMAL, TREBITT)
3. Båtprodukter, (familie 3), JOTUN YACHTING)
4. Farbikkmalt kledning, (familie 4), (DRYGOLIN, OPTIMAL, TREBITT (malt kledning))



Figur 1: Jotun i Sandefjord.

Jotuns logistikkavdeling har for 2016 allerede utarbeidet **12 måneders** prognoser for familie 1, 2 og 4, men de mangler en prognose for båtproduktene (familie 3):

Måned t , 2016 ($t = 1..12$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Interiør (familie 1)	30	25	40	35	20	50	40	45	30	35	45	15
Utendørs (familie 2)	10	20	30	60	80	100	70	50	30	10	10	5
Båtprodukter (familie 3)	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Fabrikkmalt (familie 4)	5	6	3	8	5	5	4	2	3	5	4	5

Tabell 1: Prognoser (i 100 000 liter).

Som nyutdannende konsulenter i logistikk, skal vi nå hjelpe logistikkavdelingen med å utarbeide prognosen for båtproduktene.

Siden båtproduktene sin salgshistorikk for 2015 viser et **irregulært** mønster, har de bestemt seg for å utarbeide prognoser ved hjelp av eksponensiell glatting med glattingsparameter 0.2, dvs.:

$$ES(\theta = 0.2)$$

Vi har fått tilgang til Jotuns salgshistorikk for 2015 samt prognosene til og måned 9:

Måned t , 2015 ($t = 1..12$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Båtpr. etterspørsel X_t	7	10	5	12	10	6	11	7	8	10	6	18
Båtpr. prognose F_t	-	7	9.4	5.9	10.8	10.2	6.8	10.2	7.6	?	?	?

Tabell 2: Etterspørsel X_t og prognose F_t (i 100 000 liter).



Figur 2: Jotun yachting (familie 3).

- a) 5% Regn ut de historiske prognosene F_{10} , F_{11} og F_{12} ved hjelp av eksponensiell glatting med glattingsparameter 0.2, dvs. $ES(\theta = 0.2)$.
- b) 5% Regn ut prognosen for 2017, dvs regn ut F_{13} .

Logistikkavdelingen innser at det er et problem med denne prognosen. Hva synes du er problemet med denne prognosen? Begrunn svaret.

På grunn av problemet i oppgave **1b** ønsker logistikkavdelingen å finne en *sesongfaktor* for desember måned.

En sesongfaktor for et gitt år for desember måned er et tall, si G_{12}^i , som vi multipliserer observasjonen for desember måned med for å ”*sesongjustere*” tallet til samme nivå som de andre månedene. Vi får dermed en sesongjustert observasjon:

$$\boxed{\tilde{X}_{12}^i = G_{12}^i \cdot X_{12}^i} \quad (1)$$

hvor

$$\tilde{X}_{12}^i = \text{sesongjustert observasjon for desember måned for år } i \quad (2)$$

$$G_{12}^i = \text{sesongfaktor for desember måned for år } i \quad (3)$$

$$X_{12}^i = \text{faktisk salg i desember måned for år } i \quad (4)$$

og hvor indeksen i er et årstall, dvs. $i = 2013, 2014, 2015, \dots$

Anta at Jotun har historiske observasjoner for desember måned, X_{12}^i , samt gjennomsnittlig salg per måned \bar{X}^i for $i = 2013, 2014$ og 2015 som vist i tabellen:

År	2013	2014	2015
Salg X_{12}^i for desember måned år nr. i ($i = 2013, 2014, 2015$)	15	17	18
Gjennomsnittlig salg per måned \bar{X}^i ($i = 2013, 2014, 2015$)	8.7	9.5	9.2

Tabell 3: X_{12}^i og \bar{X}^i .

Siden sesongfaktoren G_{12}^i kan endre seg fra år til år, må vi lage en prognose for sesongfaktoren for 2017.

- c) 5% Bestem estimater for sesongfaktorene G_{12}^{2013} , G_{12}^{2014} og G_{12}^{2015} ved å bruke lign.(??) hvor vi bruker gjennomsnittlig salg \bar{X}^i for tilsvarende år som estimat på \tilde{X}_{12}^i .
- d) 5% Beregn, ved å bruke estimatene fra oppgave 1c, en prognose for sesongfaktoren G_{12}^{2016} for 2016, dvs. beregn G_{12}^{2016} , ved hjelp av eksponensiell glatting med $ES(\theta = 0.2)$.
- e) 5% Hva blir prognosen for desember måned i 2016? ¹



¹Denne oppgaven er vanskelig. Ikke bruk alt for lang tid på den om du ikke får den til.

Oppgave 2: (aggregert planlegging, 25 %)

Med de prognostiserte etterspørselstallene for de fire produktfamiliene til Jotun på plass , er vi nå klare for å beskrive Jotuns **aggregerte** planleggingsproblem.

Anta at etterspørselen for båtproduktene er konstant lik 8.7 for alle månedene i 2016.

Hovedmålet er å planlegge månedslige produksjons- og lagerkvanta for de fire familiene, slik at summen av totale kostnader minimeres for 2016.

Lagerkostnadene for de fire familiene er forskjellige siden salgsværdien pr liter maling varierer mellom familiene. Bearbeidingstidene er også forskjellige. Vi har følgende data:

Familie	Interiør	Utendørs	Båt	Fabrikk
Lagerkostnad pr 100 000 liter pr måned	40 000	80 000	70 000	100 000
Bearbeidingstid pr 100 000 liter (timer)	15	26	40	60

Tabell 4: Lagerkostnad og bearbeidingstid.

Start- og sluttlager settes lik 0 for alle familiene.



Figur 3: Lager.

Anta Jotun har kun en avdeling hvor all produksjon foregår, og anta de har maskiner nok til maksimalt 30 ansatte, men at de ved årets start kun har 16 ansatte. Hver måned besluttes hvorvidt bedriften skal ansette flere arbeidere eller permittere arbeidere. Ved årets slutt skal det være minst 15 ansatte.

Kostnaden ved en ansettelse er estimert til 30 000 kroner mens kostnaden ved en permittering er estimert til 35 000 kroner.

Anta at hver ansatt gir 90 produksjonstimer i måneden, og anta at timelønna er 1000 kroner for alle ansatte (regulære timer, dvs. ikke overtidstimer).

- a) 2.5% Definer alle data i modellen.
- b) 2.5% Definer alle variablene i modellen.²
- c) 2.5% Beskriv målfunksjonen i modellen.³
- d) 2.5% Beskriv alle føringene i modellen.
- e) 5% Personalavdelingen ved Jotun mistenker at grensen på 30 ansatte ikke gir nok produksjonstimer for å oppfylle all etterspørsel.

²Hint: Vi har følgende beslutninger angående ansatte:

- Antall ansatte for en gitt måned t , $t = 1, \dots, 12$
- Antall arbeidere som permitteres fra måned t til $t + 1$, $t = 1, \dots, 12$
- Antall arbeidere som ansettes fra måned t til $t + 1$, $t = 1, \dots, 12$

³Summen av totale lager-og produksjonskostnader samt personalkostnader.

Anta de derfor bruker alle 30 ansatte og vis at det *ikke* er nok kapasitet til å produsere all etterspørsel. Det er nok å regne frem til og med måned 6. Vi har regnet ut de totale månedslige kapasitetsbehovene i tabellen under:

Måned 2016	1	2	3	4	5	6
Totalt kapasitetsbehov (i timer)	1350	1228	2508	3263	3528	4998

Tabell 5: Totalt kapasitetsbehov (i timer).

- f) 5% På grunn av kapasitetsproblemet påvist i oppgave 1e har logistikkavdelingen bestemt seg for å åpne opp for overtidarbeid. Anta de åpner opp for at det kan benyttes totalt 720 overtidstimer for hver måned, hvor hver overtidstime gir en halv times produksjon. Anta en overtidstime koster 1800 kroner

Utvid modellen slik at beslutningen om å benytte overtid er inkludert. ⁴

- g) 5% Sjekk om kapasitetssprekken i måned 6 nå har blitt fjernet etter at overtid har blitt inkludert i modellen.



⁴Å utvide modellen betyr å oppdatere eller legge til eventuelle nye data, variabler, føringer samt oppdatere målfunksjonen.

Oppgave 3: (master produksjonsplanlegging - EOQ, 25 %)

Logistikkgruppa ved Jotun har nå utarbeidet en aggregert (strategisk) plan som de ønsker å realisere så godt som mulig gjennom master produksjonsplanlegging.

Vi antar at de har utarbeidet **disaggregerte** prognoser for hver malingstype innen de fire kategoriene.

Et nytt produkt som de har lansert innen båtmalning er **Yachting NONSTOP supreme**.

Anta Jotun opererer med en konstant etterspørsel lik 1 for Yachting NONSTOP supreme merket.

Anta setupkostnaden består utelukkende av omstillingstiden.⁵ En produksjonstime er estimert til kroner 10 000.

Logistikkgruppen ønsker å benytte EOQ for å bestemme seriestørrelsen de skal bruke i masterplanleggingen for Yachting NONSTOP supreme merket.. De har samlet følgende nødvendige data:

- omstillingstiden er 6 timer
- salgsværdien er 80 kroner pr. liter
- årlig rentesats er 10 %



Figur 4: Yachting NONSTOP supreme.

⁵En omstillingstime er en time brukt for å klargjøre blandingsmaksinen for et nytt produkt. Omstillingstiden er kun avhengig av hvilken kategori som har blitt produsert.

- a) 2.5% Beregn lagerkostnad pr. 100 000 liter pr. uke og setupkostnad for Yachting NONSTOP supreme merket
- b) 5% Beregn EOQ for Yachting NONSTOP supreme merket. Beregn også totale lager- og setupkostnader. Avrund til nærmeste 1000.

Anta nå at logistikkgruppa har innsett at produksjonen av SENS-kategoriene har en ukentlig **produksjonsrate**.⁶

Anta videre at de har satt produksjonsraten til $P = 200\,000$ liter pr. uke. Optimal ordrestørrelse $X^*(P)$ (justert EOQ) er da gitt ved formelen:

$$X^*(P) = \sqrt{\frac{2SD}{H(1 - \frac{D}{P})}} \quad (5)$$

- c) 5% Beregn ny verdi for EOQ når produksjonsraten inkluderes.
- d) 2.5% Hva skjer hvis produksjonsraten er lavere enn etterspørselsraten? Begrunn svaret.
- e) 5% Hvorfor øker optimal EOQ når produksjonsraten inkluderes? Begrunn svaret.
- f) 5% Anta at lagerkapasiteten for Yachting NONSTOP supreme er 500 000 liter.

Hva er minimal produksjonsrate Jotun kan benytte for Yachting NONSTOP ved bruk av EOQ?
Avrund svaret til nærmeste 1000 liter.⁷



⁶Produksjonsrate betyr hvor mange liter maling som produseres pr. uke.

⁷Denne oppgaven er vanskelig. Ikke bruk alt for lang tid på den om du ikke får den til.

Oppgave 4: (master produksjonsplanlegging - Wagner-Within, 25 %)

Vi skal nå se på masterplanleggingen til et annet produkt hos Jotun: ” *Drygolin Ultimat*” .

Drygolin Ultimat er et utendørsprodukt med følgende etterspørsel de neste 8 ukene (i 100 000 liter):

Uke	1	2	3	4	5	6	7	8
Etterspørsel	3	6	12	10	22	6	7	2

Tabell 6: Etterspørsel (i 100 000 liter).

Anta initielt lager er 2 og sluttlager er 3.

Lagerkostnaden pr 100 000 liter er satt til 4000 per uke, mens omstillingskostnaden er satt til 100 000.



Figur 5: Drygolin Ultimat.

a) 15% Finn en optimal produksjonsplan ved hjelp av Wagner-Withins algoritme.

Skriv opp både totale kostnader, produksjonsplan ($C_{xxxxxxx}$), produksjonskvanta og lagerkvanta.

b) 2.5% Anta Jotun har en maksimal lagerkapasitet på 170 000 liter Drygolin Ultimat.

Er løsningen fra Wagner-Within algoritmen i 4a fremdeles gyldig? Begrunn svaret.

c) 2.5% Hvilken observasjon ved Wagner-Within algoritmen er ikke oppfylt når lagerkapasitet inkluderes i modellen? Begrunn svaret.

d) 5% Hva blir ny optimal kostnad når lagerkapasiteten inkluderes? ⁸



⁸Hint: Det finnes en ny løsning som har dominante produksjonsplaner.

Testeksamen 2017

TESTeksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsstyring

Eksamensdag	:	Testeksamen mai 2017
Tid	:	09:00 – 14:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	:	Molde: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	:	Alle trykte og skrevne hjelpemidler + Kalkulator som kan inneholde data
Antall sider inkl. forsiden	:	15
Målform	:	Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Det er totalt 4 oppgaver.**

Norsk Hydro er Norges 4 største bedrift med en årlig omsetning på rundt 88 milliarder NOK.

Hydro er produsent og global leverandør av aluminium. Hovedkontoret er i Norge (Oslo), og Hydro har 3 400 ansatte på landsbasis.

I Norge produseres [primeraluminium](#), [valsede aluminiumsprodukter](#) og [vannkraft](#).

Hovedsete til konsernet ligger i Oslo hvor konsernledelsen er lokalisert. Hydro har flere metall- og aluminiumsverk i Norge, blant annet ved Holmestrand, Karmøy, Høyanger, Porsgrunn, Sunndal og Årdal.

Vi skal i denne eksamen se nærmere på [Årdal verk](#), som ligger i enden av Sognefjorden, se figur 1.

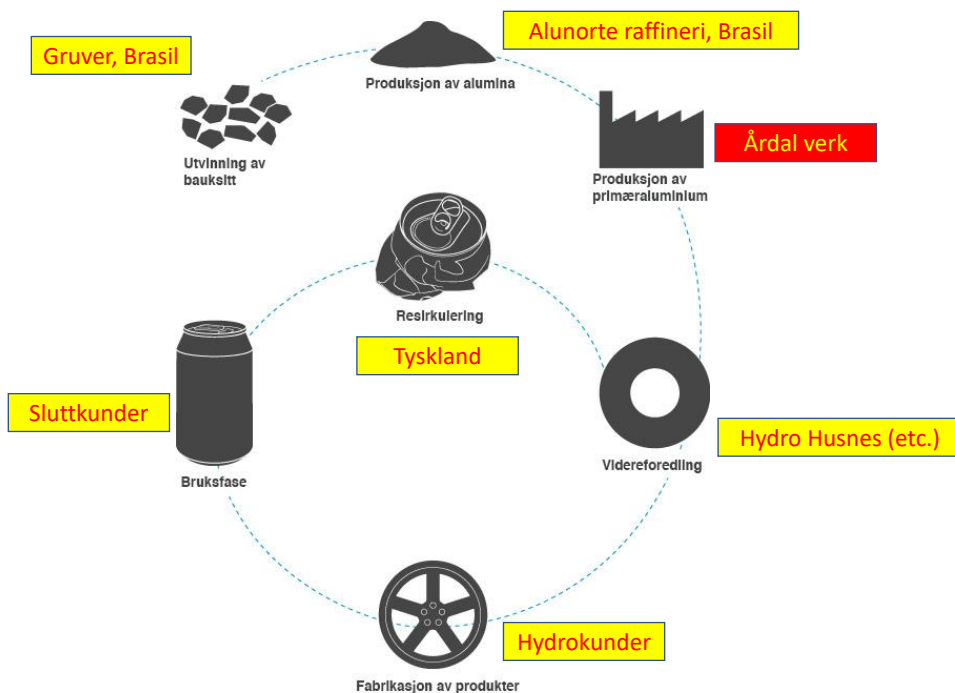


Figur 1: Hydro Aluminium AS Årdal.

Produksjon av aluminium er en **tidkrevende** og **energikrevende** prosess. Men når aluminium først er laget kan den resirkuleres igjen og igjen uten å miste sine gode egenskaper.

Produksjonsprosessen består av flere faser.

I figur 2 vises en samlet oversikt som viser hele løpet fra gruve til resirkulering.

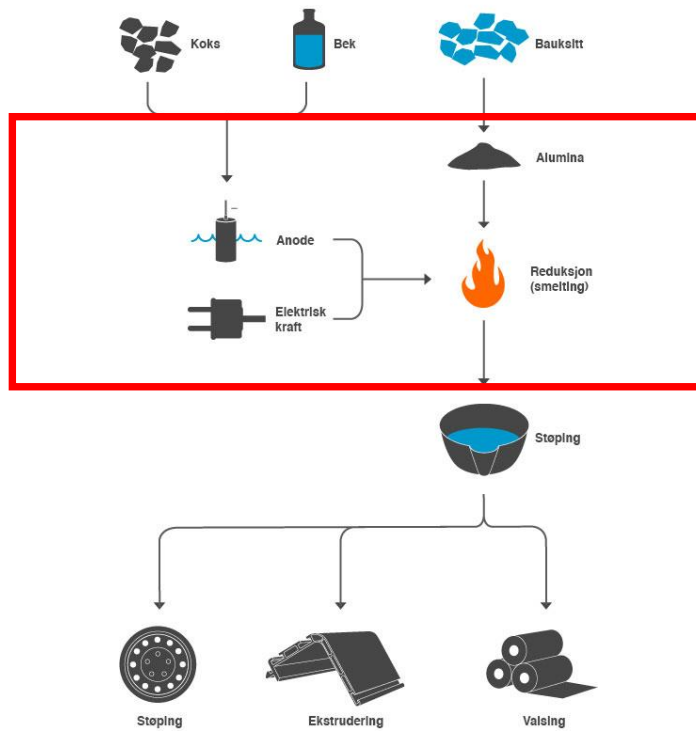


Figur 2: Produksjonsfasene for aluminium.

Som vi ser fra figur 2, så kommer Årdal verk inn under steget ”*produksjon av primæraluminium*” i den totale verdikjeden.

I produksjonen av primæraluminium, inngår tre råvarer: (se figur 3)

1. alumina
2. anoder
3. strøm



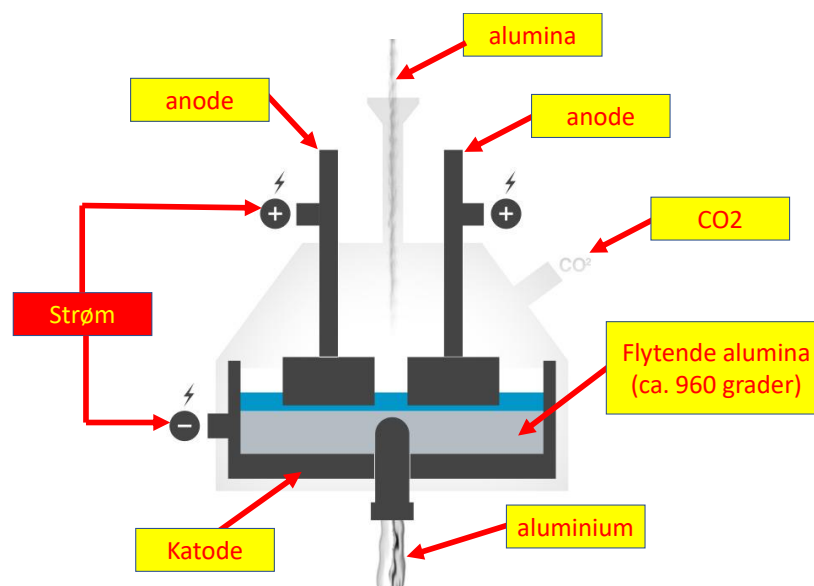
Figur 3: Råvarene i produksjonen av primæraluminium.

Aluminiumatomet i alumina er bundet til oksygen.
Dette båndet må brytes ved [elektrolyse](#) for å produsere metallet aluminium.

Elektrolyseprosessen

Alumina → aluminium og CO_2 :

1. Alumina transporteres til anleggene og inn i en celle (en stor beholder). Her blir aluminaen oppløst i et elektrolytisk bad.
2. Alumina har et høyt smeltepunkt, og omdannes gjennom en elektrolytisk prosess. I elektrolysecellene kjøres det sterk likestrøm mellom en negativ katode og en positiv anode, begge lagd av karbon. Anoden forbrukes i prosessen, ettersom den reagerer med oksygenet i aluminaen og danner CO_2 .
3. Flytende aluminium tas ut fra cellene med spesialiserte redskap og støpes til pressbolt, valseblokker eller andre typer blokker, avhengig av hvordan de skal bearbeides videre.



Figur 4: Elektrolyseprosessen.

Oppgave 1: (prognostisering, 25 %)

Vi skal i denne oppgaven prognostisere det årlige behovet for alumina ved Årdal verk. Tabell 1 viser de årlige forbrukene av alumina fra 2011 - 2016 ved Årdal verk.

År t , 2011 - 2016 ($t = 1..6$)	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Forbruk alumina X_t	720	700	730	710	690	740

Tabell 1: Årlige behov X_t for alumina ved Årdal verk (i 1000 tonn).

- a) 5% Beregn prognosen for behovet for alumina for 2017, dvs. beregn F_7 .
Bruk eksponensiell glatting med glattingsparameter 0.8, dvs. $ES(\theta = 0.8)$.
Avrund til én desimal.
- b) 5% Beregn MSE for metoden brukt i oppgave 1a.
Hva er MSE et mål på?
Begrunn svaret.

Logistikkgruppen hos Hydro synes de $n_2 = T_2 - s_2 + 1 = 5$ prognosene i tabell 1 er for lite grunnlagt til å beregne MSE . Heldigvis har Hydro beregnet og lagret $MSE = 300$ for årene 2005 - 2011, dvs. $n_1 = T_1 - s_1 + 1 = 7$ prognoser.

- c) 5% Beregn MSE på nytt, hvor du nå inkluderer at du vet at $MSE = 300$ for årene 2005 - 2011.

I oppgave **1a** ble glattingsparameteren $\theta = 0.8$ brukt.

Logistikk gruppen vurderer å endre glattingsparameteren til $\theta = 0.2$.

Prognosene F_t ved bruk av $ES(\theta = 0.2)$ er:

$$F_2 = 720 \quad (1)$$

$$F_3 = 704 \quad (2)$$

$$F_4 = 724.8 \quad (3)$$

$$F_5 = 713.0 \quad (4)$$

$$F_6 = 694.6 \quad (5)$$

(Lign.(1)-(5) skal du ikke vise. Bare ta de for gitt.)

- d) 10%** Gjør nødvendige beregninger for å bestemme om Hydro bør bytte til $\theta = 0.2$ eller om de bør beholde $\theta = 0.8$ som i oppgave **1a**.

Hva blir konklusjonen?

Var konklusjonen forventet? Begrunn svaret.



Oppgave 2: (EOQ, 25 %)

Vi skal nå fortsette å planlegge anskaffelsen av alumina.

Hydro bestiller alumina fra [Alunorte](#), verdens største aluminiumsraffineri, se figur 5.

Alumina leveres via kjemiske tankskip.

Vi skal bestemme en bestillingsplan for 2017 for alumina slik at totale lager- og bestillingskostnader minimeres.

Hydro opererer med konstant etterspørsel

$$D = 717 \text{ tusen tonn} \quad (6)$$

alumina per år.

Anta videre at bestillingskostnaden for alumina er estimert til $S = 1\,000\,000$ NOK.

Lagerkostnaden H per år er 10% av innkjøpsprisen, som er $C = 10\,000$ NOK per tonn alumina.

Bestillingskostnaden for alumina er så høy pga. høye skipskostnader.



Figur 5: Alumina.

- a) 10% Hydro har bestemt seg for å bruke EOQ-formelen for å bestemme bestillingsplanen for alumina.

Hvilke antakelser har de implisitt tatt?

Hvorfor kan vi med god samvittighet bruke EOQ-formelen selv om ikke alle antakelsene er oppfylt 100%?

Begrunn svaret.

- b) 5% Vis ved regning at optimal bestillingsmengde for alumina er

$$X^* = 37\,868 \text{ tonn} \quad (7)$$

Hva er omløpstiden for lageret av alumina ved Årdal verk?¹

Hvor mange bestillinger gjøres i løpet av 2017 dersom vi antar at lageret er fullt ved starten av året?

Et vesentlig problem ved bestillingsmengden på $X^* = 37\,868$ tonn alumina er at tankskipet de har fått tilbud ² på kun tar 30 000 tonn alumina.

Logistikerne ved Årdal har satt opp to strategier for å løse problemet:

1. Bestille *to mindre* tankskip, hver med kapasitet på 25 000 tonn. Kostnaden for hvert skip er 700 000 NOK.
2. Bruke det tankskipet de allerede har fått tilbud for, men da med restriksjonen på 30 000 tonn alumina.

- c) 10% Hvilken strategi vil du anbefale til logistikerne ved Årdal verk?
Begunn svaret ved å gjøre nødvendige beregninger.

¹Skriv svaret i antall uker. Avrundet til en desimal.

²Dvs. bestillingskostnaden.

Oppgave 3: (fasilitetsdesign, 25 %)

Årdal verk produserer også **anoder** som benyttes i elektrolyseprosessen ved produksjon av primæraluminium, se figur 6.

I tillegg til at Årdal verk selv benytter anodene, leveres de også til de 4 andre aluminiumsverkene som Hydro eier. ³

Optimal plassering av **lagrene** for anodene er derfor meget viktig for kostnadseffektivt bytte av utbrente anoder.

Verket har 3 produksjonshaller for aluminium, og de vurderer opp til 5 forskjellige lagerfasiliteter.

Årdal verk ønsker å bestemme hvilke lagre som skal opprettes slik at totale investerings- og driftskostnader minimeres over en 10 års periode.



Figur 6: Anoder i Årdal.

³De 4 andre aluminiumsverkene i Norge er: Husnes, Høyanger, Karmøy og Sunndal.

Hvert potensielle lager har en estimert investeringskostnad gitt i tabell 2. Tabellen inkluderer også de estimerte årlige driftskostnadene ved lagrene. Alle tall er gitt i hele millioner NOK.

	Lager 1	Lager 2	Lager 3	Lager 4	Lager 5
Investeringskostnad I_i	4	5	3	5	6
Årlig driftskostnad C_i	1.8	2	1.5	2.5	3

Tabell 2: Investeringskostnad I_i (i antall millioner NOK), hvor $i = 1, \dots, 5$.

Hydro sitt anlegg i Årdal har estimert årlig etterspørsel etter anoder for hver produksjonshall i tabell 3. Alle tall er gitt i hele tusen anoder.

	Produksjonshall 1	Produksjonshall 2	Produksjonshall 3
Etterspørsel D_j	2	2.5	3

Tabell 3: Etterspørsel D_j (i antall tusen anoder), hvor $j = 1, \dots, 3$.

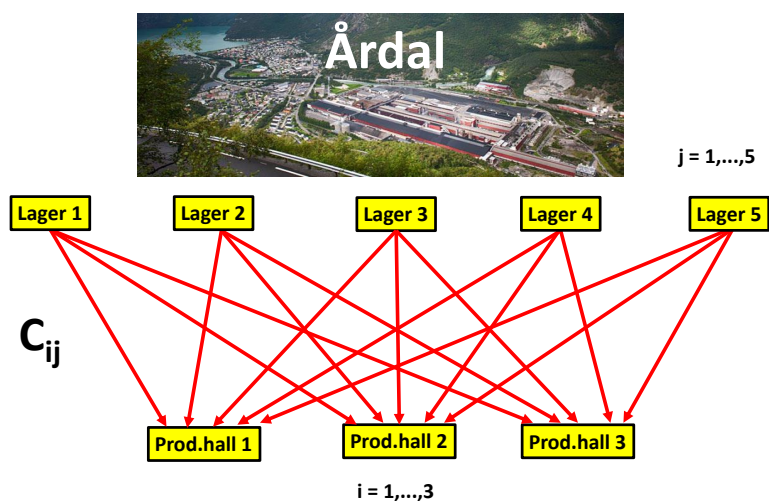
Hver rute, fra lager til produksjonshall, har en kostnad, C_{ij} assosiert med seg.⁴ Disse kostnadene er gitt i tabell 4, og tallene er gitt i hele tusen NOK.

	Lager 1	Lager 2	Lager 3	Lager 4	Lager 5
Produksjonshall 1, C_{i1}	3	1	3	2	1
Produksjonshall 2, C_{i2}	1	4	2	3	2
Produksjonshall 3, C_{i3}	2	3	1	1	3

Tabell 4: Rutekostnadene C_{ij} (i antall 1000 NOK) fra gitt lager til produksjonshall, hvor $i = 1, \dots, 5$ og $j = 1, \dots, 3$.

⁴Vi har valgt indeksen $i = 1, \dots, 5$ for lagerfasilitetene og $j = 1, 2, 3$ for produksjonshallene.

- a) 2.5% Er problemet et lokasjonsproblem? Begrunn svaret.
- b) 2.5% Er problemet et allokeringssproblem? Begrunn svaret.
- c) 2.5% Definer alle data i problemet.
- d) 2.5% Definer alle variablene i problemet.
- e) 2.5% Definer målfunksjonen i problemet.
- f) 2.5% Beskriv føringene i problemet.



Figur 7: Rutekostnadene C_{ij} .

Det viser seg at lagrene har en årlig **kapasitet**, hvor de estimerte tallene er gitt i tabell 5. Alle tall er i hele tusen.

	Lager 1	Lager 2	Lager 3	Lager 4	Lager 5
Lagerkapasitet \bar{I}_i	5.5	8	4	9	11

Tabell 5: Maksimalt antall anoder \bar{I}_i per lager per år (i antall tusen anoder), hvor $i = 1, \dots, 5$.

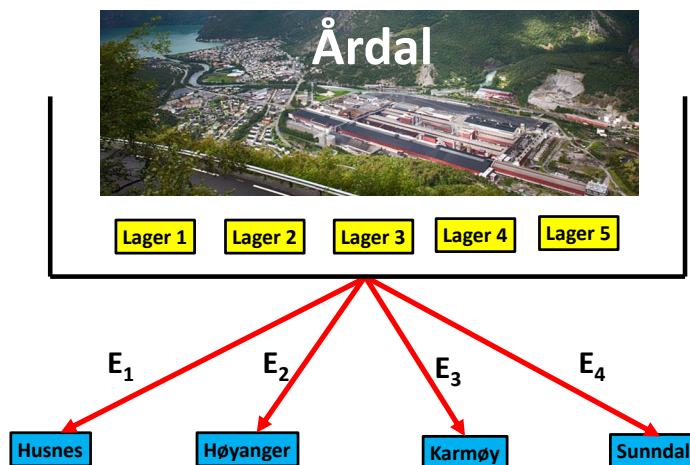
Siden lagrene i Årdal også leverer til de 4 andre aluminiumsverkene i Norge, innser de at den årlige etterspørselen til disse verkene også må inkluderes. Tallene er gitt i tabell 6, igjen i hele tusen.

	Husnes	Høyanger	Karmøy	Sunddal
Etterspørsel E_k	5	4	8	7

Tabell 6: Etterspørsel E_k (i antall tusen anoder), hvor $k = 1, \dots, 4$

g) 10% Utvid modellen slik at lagerkapasitetene inkluderes.

■



Figur 8: Årdal leverer til 4 andre verk.

Oppgave 4: (Wagner - Whitin, 25 %)

Vi skal nå planlegge en 6 ukers master produksjonsplan for anodene ved Årdal verk.

Etterspørselen for anoder for de neste 6 ukene er gitt i tabell 7.
All etterspørsel skal oppfylles.

	uke 1	uke 2	uke 3	uke 4	uke 5	uke 6
Etterspørsel D_t	550	350	400	850	500	700

Tabell 7: Etterspørsel D_t etter anoder de neste 6 ukene, dvs. $t = 1, \dots, 6$.

Det tar 10 timer å igangsette produksjonen av anoder, dvs. oppstartstiden er 10 timer.
Hver slik oppstartstime koster Hydro 15 000 NOK.

Anta at startslageret er 100 anoder, mens sluttlageret er fastsatt til 200 anoder.
Lagerkostnaden H per anode per uke er estimert til 100 NOK.

a) 15% Løs problemet ved hjelp av Wagner-Whitin algoritmen. ⁵

⁵Dvs. regn ut:

- minimale lager- og setupkostnader $C^* = C_{xxxxx}$
- bestillingsplan Y_t , hvor $t = 1, \dots, 6$.
- optimale produksjonsmengder X_t , hvor $t = 1, \dots, 6$
- optimale lagermengder I_t , hvor $t = 1, \dots, 5$

Oppstartstiden er 10 timer.

Hydro har over lengre tid jobbet med å **redusere** denne oppstartstiden gjennom ulike forbedringstiltak. Målet er at de kan redusere oppstartstiden slik at det blir lønnsomt å **ikke** ha stans i produksjonen en uke.

- b) **10%** Hva må oppstartskostnaden S redusere seg til for at Hydro skal få Just-In-Time produksjon (JIT)? ⁶ ⁷

Hva er tilhørende reduksjon i oppstartstid?

■



Figur 9: Just-In-Time. Intet lager.

⁶ "Just-In-Time" (JIT) betyr at alle lagervariablene fra Wagner-Whitin algoritmen blir null, dvs.

$$I_t = 0 \tag{8}$$

for $t = 1, \dots, 5$.

Den minste kostnaden i en gitt periode må da være i sine ledd:

$$C_t^* = \min [\dots, \dots, \dots] \tag{9}$$

⁷Dette er ansett som en A-oppgave.

Hovedeksamen 2017

Eksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsstyring

Eksamensdag	:	Eksamen tirsdag 30. mai 2017
Tid	:	09:00 – 14:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	:	Molde og Kristiansund: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	:	Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator som kan inneholde data
Antall sider inkl. forsiden	:	20
Målform	:	Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Det er totalt 4 oppgaver.**

Norsk Hydro er Norges 4 største bedrift med en årlig omsetning på rundt 88 milliarder NOK.

Hydro er produsent og global leverandør av aluminium. Hovedkontoret er i Norge (Oslo), og Hydro har 3 400 ansatte på landsbasis.

I Norge produseres [primæraluminium](#), [valsede aluminiumsprodukter](#) og [vannkraft](#).

Hovedsete til konsernet ligger i Oslo hvor konsernledelsen er lokalisert. Hydro har flere metall- og aluminiumsverk i Norge, blant annet ved Holmestrand, Karmøy, Høyanger, Porsgrunn, Sunndal og Årdal.

Vi skal i denne eksamen se nærmere på [Årdal verk](#), som ligger i enden av Sognefjorden, se figur 1.

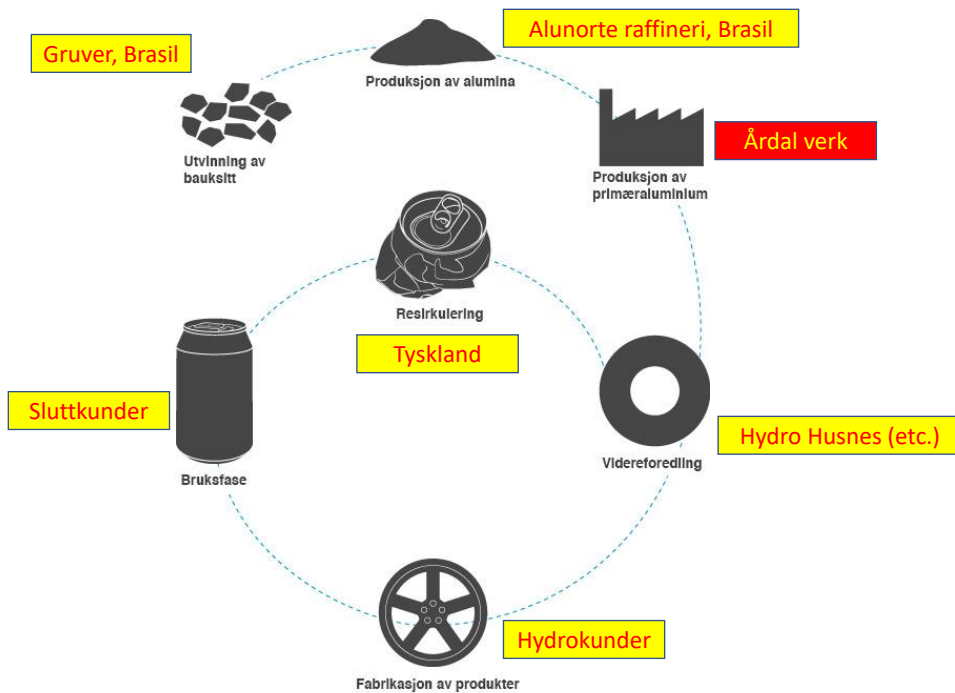


Figur 1: Hydro Aluminium AS Årdal.

Produksjon av aluminium er en **tidkrevende** og **energikrevende** prosess. Men når aluminium først er laget kan den resirkuleres igjen og igjen uten å miste sine gode egenskaper.

Produksjonsprosessen består av flere faser.

I figur 2 vises en samlet oversikt som viser hele løpet fra gruve til resirkulering.

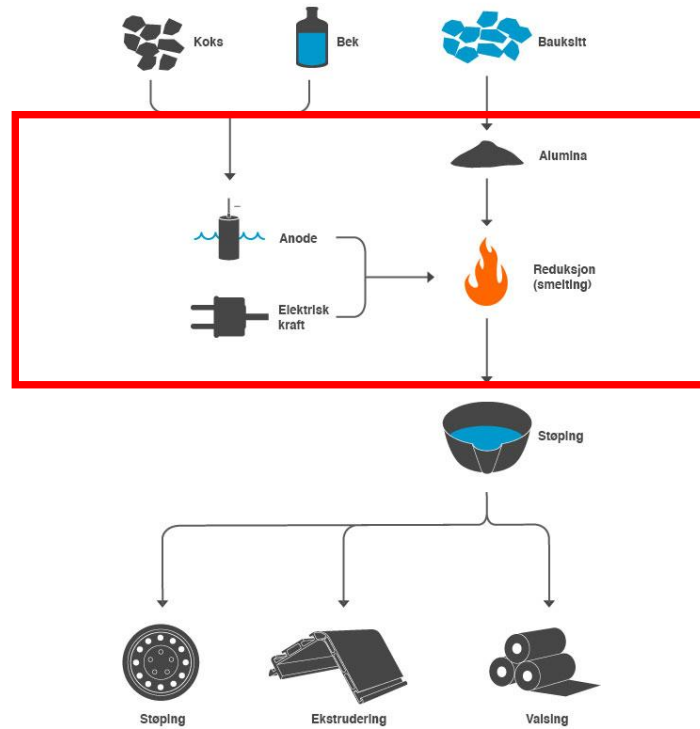


Figur 2: Produksjonsfasene for aluminium.

Som vi ser fra figur 2, så kommer Årdal verk inn under steget ”*produksjon av primæraluminium*” i den totale verdikjeden.

I produksjonen av primæraluminium, inngår tre råvarer: (se figur 3)

1. alumina
2. anoder
3. strøm



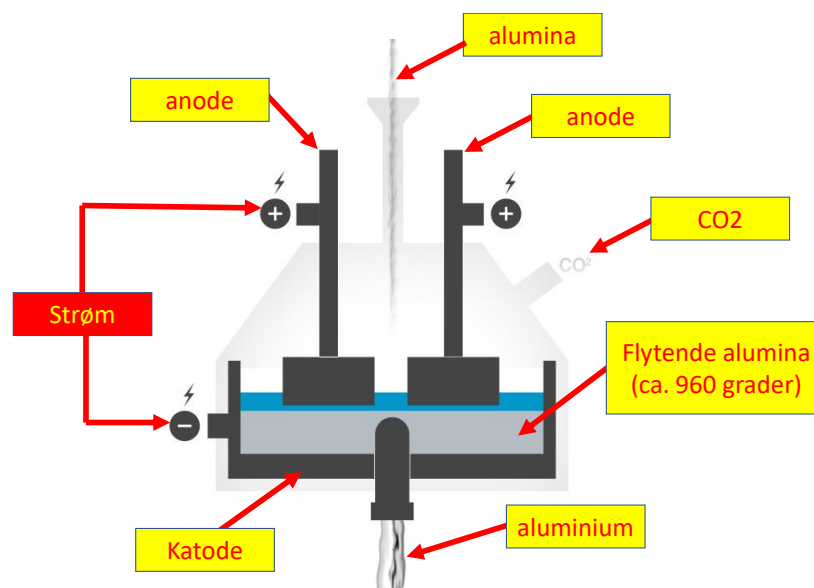
Figur 3: Råvarene i produksjonen av primæraluminium.

Aluminiumatomet i alumina er bundet til oksygen. Dette båndet må brytes ved elektrolyse for å produsere metallet aluminium.

Elektrolyseprosessen

Alumina → aluminium og CO_2 :

1. Alumina transporteres til anleggene og inn i en celle (en stor beholder). Her blir aluminaen oppløst i et elektrolytisk bad.
2. Alumina har et høyt smeltepunkt, og omdannes gjennom en elektrolytisk prosess. I elektrolysecellene kjøres det sterk likestrøm mellom en negativ katode og en positiv anode, begge lagd av karbon. Anoden forbrukes i prosessen, ettersom den reagerer med oksygenet i aluminaen og danner CO_2 .
3. Flytende aluminium tas ut fra cellene med spesialiserte redskap og støpes til pressbolt, valseblokker eller andre typer blokker, avhengig av hvordan de skal bearbeides videre.



Figur 4: Elektrolyseprosessen.

Oppgave 1: (prognostisering, 25 %)

Strøm er – som tidligere nevnt – en **betydelig** innsatsfaktor ved produksjon av aluminium. I denne oppgaven skal vi prognostisere det **årlige** behovet for strøm brukt i aluminiumsproduksjonen.

Hydro bruker eksponensiell glatting med glattingsparameter $\theta = 0.8$, dvs. $ES(\theta = 0.8)$.

Anta at det målte strømforbruket i 2016 var 7.1 TWh. ¹

Anta videre at prognosen for 2016 ga en **feil** på 0.32 TWh.

a) 5% *i)* Beregn prognosen for strømbehovet 2017, dvs. F_{2017} . Bruk $ES(\theta = 0.8)$.

ii) Hva var prognosen for 2016, dvs. F_{2016} ? ²

Hydro investerer i forskning på nye produksjonsceller som gir lavere strømforbruk.

Med et visst antall år imellom installeres **nye strømsparende** produksjonsceller som gir en kraftig **reduksjon** i strømforbruket. Erfaring viser at strømforbruket er relativt konstant de årene hvor de samme produksjonscellene benyttes.

Inneværende år – dvs. 2017 – er et slikt år hvor nye produksjonsceller blir brukt i produksjonen ved Årdal.

b) 5% På bakgrunn av informasjonen over vurderer Hydro å bruke en **ny** glattingsparameter θ_{ny} .

i) Synes du det er fornuftig å endre glattingsparameteren?

ii) I såfall, hvilken egenskap ved metoden synes du glattingsparameteren bør gi? Gi en *kort* begrunnelse. ³

¹ TWh = terrawatt timer

²Tips: Bruk definisjonen av prognosefeil E_t .

³Bør man ha en høy eller lav glattingsparameter dersom det er store endringer i strømforbruket?

Selv om vi er i mai 2017 må Hydro allerede nå lage prognoser for strømbehovet for 2018.

Logistikkansatte i Hydro bestemmer seg for å endre glattingsparameteren, men de er usikre på hvilken verdi for θ_{ny} de skal ha. Men de er enige om at det er hensiktsmessig å bruke all tilgjengelig informasjon om tidligere strømforbruk.

Anta at hittil i år – altså 2017 – har aluminiumsproduksjonen brukt 3.4 TWh strøm.
I tillegg:

- Forbruket i 2017 er redusert med 15.1 % sammenlignet med 2016.⁴
- Forbruket i 2017 er redusert med 14.6 % sammenlignet med 2015.

Forbruket på samme tidspunkt i 2014 var 3.88 TWh.

Hydro har ikke tilgjengelig strømforbruket på samme tidspunkt for 2013 og tidligere år.

- c) 5% i) Hva var strømforbrukene på samme tidspunkt i 2015 og 2016, dvs. hva er X_{2015} og X_{2016} ?
Avrund til to desimaler.
- ii) Hvor mange observasjoner har Hydro tilgjengelig for å estimere ny glattingsparameter θ_{ny} ?
- d) 10% i) Hvorfor er MSE et riktig mål å bruke for å bestemme den nye glattingsparameteren?
- ii) Hvordan ville du ha gått frem for å bestemme ny glattingsparameter θ_{ny} ved hjelp av MSE ?⁵

Vær kortfattet i begge deloppgavene.

⁴Altså $X_{2017} = X_{2016} - \text{reduksjon}$.

⁵Du skal *ikke* bestemme θ_{ny} . Du skal kun *forklare* fremgangsmetoden.
Ønsker vi en størst mulig eller minst mulig $MSE(\theta_{ny})$?

Oppgave 2: (EOQ, 25 %)

Vi skal nå planlegge den årlige produksjonen av primæraluminium – heretter kun kalt aluminium i resten av oppgave 2.

Selv om den månedslige etterspørselen etter aluminium faktisk er varierende, gjør Hydro en forenkling og setter den konstant og lik:

$$D = 204\,000 \text{ tonn} \quad (1)$$

Anta videre at setuptiden for produksjonen av primæraluminium er gitt ved 30 timer. Kostnaden ved stans i produksjonen er estimert til 70 000 NOK per time.

Lagerkostnaden H per tonn primæraluminium per år er 5 000 NOK

$$H = 5\,000 \text{ NOK per tonn per år} \quad (2)$$

Vi skal bestemme en produksjonsplan for 2017 for primæraluminium slik at totale lager- og setupkostnader minimeres.



Figur 5: Primæraluminium.

- a) 5% De logistikkansatte i Hydro har bestemt seg for å bruke EOQ-formelen for å bestemme produksjonsplanen for aluminium.

i) Vis ved regning at optimal produksjonsmengde for aluminium er

$$X^* = 13\,090 \text{ tonn} \quad (3)$$

ii) Hva er omløpstiden for lageret av aluminium ved Årdal verk? ⁶

- b) 5% Ved å bruke EOQ-formelen har logistikerne i Hydro gjort noen forenklingene antakelser. I tillegg til at etterspørselen faktisk ikke er konstant er også spesielt en av de andre antagelsene åpenbart ikke oppfylt.

Hvilken antakelse mener du dette er?
Begrunn svaret.

Siden noen av antakelsene ikke er fullstendig oppfylt for produksjonen av aluminium kan logistikkgruppen anta at X^* funnet i oppgave 2a faktisk ikke er den optimale. De definerer derfor:

$$\tilde{X} = \text{den virkelige EOQ} \quad (4)$$

Følgende velkjente formel gir logistikkgruppen muligheten til å vurdere effekten av hva avviket mellom X^* og \tilde{X} vil gi på avviket mellom de tilsvarende kostnadene $C(X^*)$ og $C(\tilde{X})$:

$$\frac{C(X^*)}{C(\tilde{X})} = \frac{1}{2} \left[\frac{\tilde{X}}{X^*} + \frac{X^*}{\tilde{X}} \right] \quad (5)$$

- c) 10% Bruk lign.(5) og bestem intervallet til forholdet $\frac{X^*}{\tilde{X}}$ slik at $\frac{C(X^*)}{C(\tilde{X})}$ ikke overstiger 1.25. ^{7 8 9}

⁶Skriv svaret i antall uker. Avrund til én desimal.

⁷Altså finn forholdet $\frac{X^*}{\tilde{X}}$ slik at $\frac{C(X^*)}{C(\tilde{X})} \leq 1.25$.

⁸Dette er en A-oppgave.

⁹Tips: ABC-formelen for løsning av nullpunktene til en andregradslikningen $aZ^2 + bZ + c = 0$ er nyttig:

$$Z = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (6)$$

Anta at Årdal produserer med en produksjonshastighet på

$$P = 408\,000 \text{ tonn per år} \quad (7)$$

Formelen for EOQ under forutsetningen om konstant produksjonshastighet er da:

$$\tilde{X} = \sqrt{\frac{2DS}{H\left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \quad (8)$$

d) 5% i) Beregn ny \tilde{X} ved hjelp av lign.(8).

ii) Beregn forholdet X^*/\tilde{X} og kommenter svaret i lys av oppgave 2c.¹⁰

■

¹⁰Dvs. er avviket mellom den opprinnelige EOQ fra lign.(3) og ny EOQ beregnet fra lign.(8) stort nok til at kostnadsavviket overskrider 25 %?

Oppgave 3: (aggregert planlegging, 25 %)

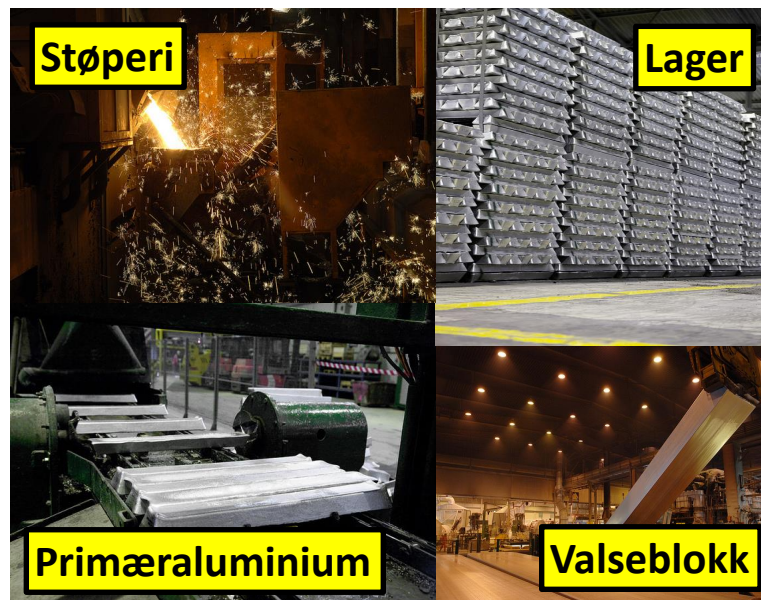
Resultatet fra elektrolyseprosessen er flytende aluminium. Flytende aluminium sendes videre til støping.

Fra denne flytende aluminiumen produseres to produktfamilier:

- **primæraluminium** – enkle barrer med aluminium
- **støperiprodukter** – f.eks. valseblokker og støpelegeringer

Innen hver produktfamilie finnes det flere **varianter** av aluminium med forskjellige egenskaper. En av egenskapene er f.eks. **renheten**.¹¹ Disse egenskapene fås ved at den flytende aluminiumen fra elektrolyseprosessen tilsettes ulike kjemiske stoffer som gir de ønskede egenskapene.

Vi skal i denne oppgaven beskrive en matematisk modell som gir en **aggregert** produksjonsplan for de fire kvartalene i 2018, slik at totale lager- og produksjonskostnader minimeres.



Figur 6: Støperi, lager, primæraluminium og valseblokk.

¹¹Dvs. hvor ren *aluminiumen* er.

Tabell 1 viser aggregert kvartalsvis etterspørsel etter $\overbrace{\text{primæraluminium}}^{i=1}$ og $\overbrace{\text{støperiprodukter}}^{i=2}$. Alle tall er gitt i 1 000 tonn.

	Kvartal 1	Kvartal 2	Kvartal 3	Kvartal 4
$\overbrace{\text{Primæraluminium}}^{i=1} D_{1t}$	40	30	80	54
$\overbrace{\text{Støperiprodukter}}^{i=2} D_{2t}$	80	50	70	80

Tabell 1: Etterspørsel D_{it} (i 1 000 tonn), hvor $i = 1, 2$ og $t = 1, 2, 3, 4$.

Hver produktfamilie har en del forskjellige data:

- Bearbeidingstider ¹²
- Setupkostnader ¹³
- Lagerkostnader per tonn per kvartal ¹⁴
- Strømkostnader per tonn produsert ¹⁵

¹²Dette kommer hovedsaklig fra blandingsprosessen og avkjøling av aluminiumet.

¹³Forskjellige varianter gir forskjellige omstillingstider.

¹⁴Forskjellig salgsverdi gir forskjellig lagerkostnader.

¹⁵Siden produksjonen av strøm er avhengig av årstidene, fås forskjellig produksjonskostnader per kvartal per familie.

Bearbeidingstidene, lagerkostnadene og setupkostnadene er oppsummert i tabell 2. Alle kostnadstall er i NOK.

	$i = 1$ Primæraluminium	$i = 2$ Støperiprodukter
Bearbeidingstid R_i	0.02	0.04
Lagerkostnad H_i	125	200
Setupkostnad S_i	2 000 000	3 000 000

Tabell 2: Bearbeidingstider R_i (timer per tonn), lagerkostnader H_i (NOK per tonn per kvartal) og setupkostnader S_i , hvor $i = 1, 2$.

Strømkostnadene per tonn produsert per familie er oppsummert i tabell 3. Alle tall er i NOK per tonn produsert.

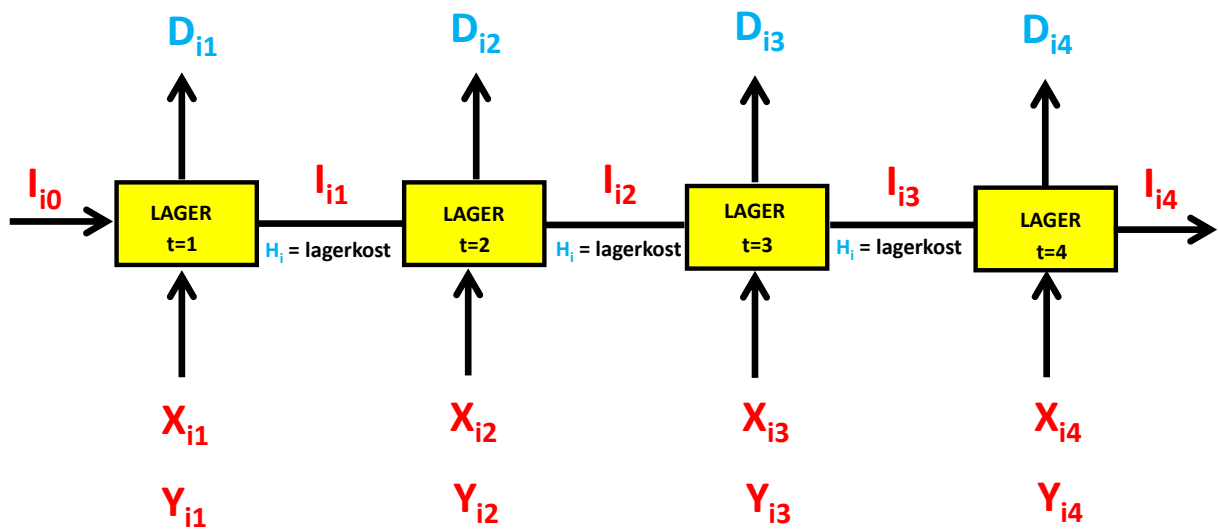
	Kvartal 1	Kvartal 2	Kvartal 3	Kvartal 4
$i = 1$ Strømkostnad primæraluminium C_{1t}	1 250	1 400	1 300	1 200
$i = 2$ Strømkostnad støperiprodukter C_{2t}	2 000	1 800	2 100	1 900

Tabell 3: Strømkostnader C_{it} (NOK per tonn produsert), hvor $i = 1, 2$ og $t = 1, 2, 3, 4$.

I hvert kvartal har produksjonslinjen for primæraluminium maksimalt 20 000 timer tilgjengelig, mens støperiprodukter har maksimalt 30 000 timer tilgjengelig.

Anta primæraluminium har startslager 10 000 tonn og et krav om sluttlager 20 000 tonn, mens støperiprodukter har startslager 15 000 tonn og et krav om sluttlager 25 000 tonn.

- a) 5% Definer alle data i problemet.
- b) 5% Definer alle variablene i problemet.
- c) 5% Definer målfunksjonen i problemet.
- d) 5% Beskriv føringene i problemet.



Figur 7: Lager.

Logistikkgruppen innser at modellen har er to mangler:

- 1) Modellen så langt inkluderer *ikke* det faktum at produktfamiliene lages ut fra samme produksjonslinje av flytende aluminium.

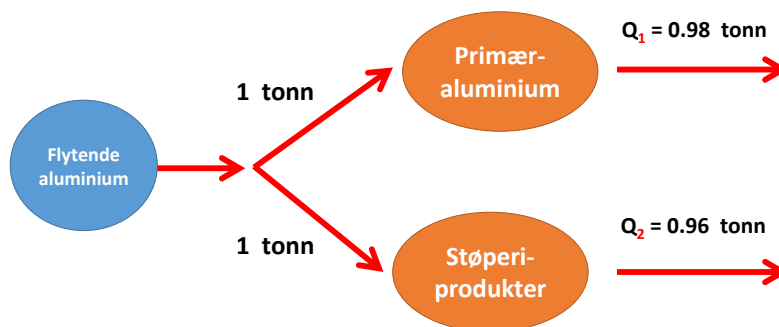
Produksjonskapasiteten totalt for begge familiene vil dermed være direkte avhengig av produksjonskapasiteten til flytende aluminium. Anta at 1 tonn flytende aluminium gir 0.98 tonn primæraluminium eller tilsvarende 0.96 tonn støperiprodukt, se figur 8.

Anta at Årdal verk kan **maksimalt** produsere 200 000 tonn flytende aluminium per kvartal.

- 2) Logistikkgruppen kan *velge* hvor mye av kvartalsvis produksjon av flytende aluminium går til produksjon av primæraluminium og hvor mye går til produksjon av støperiprodukter.

Anta logistikkgruppa setter dette fordelingsforholdet en gang per kvartal.

- e) **5%** Utvid modellen slik at de de to manglene nevnt ovenfor er inkludert.



Figur 8: Primæraluminium og støperiprodukter.

Oppgave 4: (Wagner - Whitin, 25 %)

I denne oppgaven fortsetter vi fra oppgave 3.

Logistikkgruppen har nemlig tatt mål av seg å løse problemet for hånd.

De har valgt følgende strategi i tre steg:

1. Se vekk fra alle kapasitetsføringer i modellen.
Vi har da to **separate** Wagner-Whitin problemer med varierende strømkostnader.¹⁶
2. Finn deretter optimale produksjonsplaner ved å bruke Wagner-Whitin algoritmen for hver av produktfamiliene separat.
3. Sjekk om den totale løsningen oppfyller kapasitetsføringene.
Hvis dette er tilfelle så har vi funnet optimal løsning.

Steg 1:

Vi ser vekk fra kapasitetsføringene:

- Anta at vi har ubegrenset antall timer tilgjengelig for støping for hver familie.
- Anta at vi kan produsere et ubegrenset antall tonn flytende aluminium per kvartal

Steg 2:

Vi skal finne en optimal produksjonsplan ved hjelp av Wagner-Whitin algoritmen for både primæraluminium og støperiprodukter. Vi starter med primæraluminium:

Siden vi har varierende strømpriser så får vi et **ekstra kostnadsledd** i målfunksjonen.

På neste side vises de to første stegene i algoritmen for å illustrere hvordan den fungerer med varierende strømpriser:

¹⁶Vi har et Wagner-Whitin problem for hver familie.

Periode 1: (subproblem med kun første periode)

Etterspørselen i uke 1 er $D_{11} = 40\,000$ tonn primæraluminium.

Det initielle lageret på $I_{10} = 10\,000$ tonn er ikke stort nok til å dekke etterspørselen så vi må fremdeles produsere $X_{11} = D_{11} - I_{10} = 30\,000$ tonn i første periode:

$$\underline{C}_1^* = S_1 + \underbrace{C_{11}X_{11}}_{\text{ekstra}} = \left(2\,000\,000 + 1250 \cdot 30\,000 \right) \text{ NOK} = \underline{39\,500\,000 \text{ NOK}} \quad (9)$$

Periode 2: (subproblem de 2 første periodene)

Dominante produksjonsplaner gir *to* mulige optimale løsninger: C_{10} og C_{x1} .

Vi regner ut disse verdiene:

$$\underline{C}_2^* = \min \left[C_{10}, C_{x1} \right] \quad (10)$$

$$= \min \left[(\text{siste bestilling i 1. periode}), (\text{siste bestilling i 2. periode}) \right] \quad (11)$$

$$= \min \left[C_1^* + H_1 D_{12} + \underbrace{C_{11} D_{12}}_{\text{ekstra}}, C_1^* + S_1 + \underbrace{C_{12} D_{12}}_{\text{ekstra}} \right] \quad (12)$$

$$= \min \left[39\,500\,000 + 125 \cdot 30\,000 + 1250 \cdot 30\,000, 39\,500\,000 + 2\,000\,000 + 1400 \cdot 30\,000 \right]$$

$$= \min \left[\underline{80\,750\,000}, 83\,500\,000 \right] \text{ NOK} \quad (13)$$

$$= \underline{80\,750\,000 \text{ NOK}} \quad (14)$$

- a) 15% Fortsett Wagner-Whitin algoritmen og finn C_3^* og C_4^* , og vis at

$$C_4^* = C_{1011} = 277\,550\,000 \text{ NOK} \quad (15)$$

- b) 5% Bestem optimale produksjonsmengder, dvs. bestem X_{11} , X_{12} , X_{13} , X_{14} og optimale lagermengder I_{11} , I_{12} , I_{13} .¹⁷

¹⁷Du trenger kun lign.(15) for å løse denne oppgaven.

Anta logistikkgruppen har funnet de tilsvarende verdiene til støperiprodukter:

$$C_4^* = C_{1101} = 568\,500\,000 \text{ NOK} \quad (16)$$

og

$$X_{21} = 65\,000 \quad (17)$$

$$X_{22} = 120\,000 \quad (18)$$

$$X_{23} = 0 \quad (19)$$

$$X_{24} = 105\,000 \quad (20)$$

og

$$I_{21} = 0 \quad (21)$$

$$I_{22} = 70\,000 \quad (22)$$

$$I_{23} = 0 \quad (23)$$

Steg 3:

I steg 3 skal vi nå sjekke om kapasitetsføringene som vi så vekk fra i steg 1, er oppfylt for løsningene vi fant fra Wagner-Whitin algoritmen.

Anta logistikkgruppen allerede har sjekket maksimalt antall timer tilgjengelig for hver familie, med positivt resultat.¹⁸

De siste kapasitetsføringene som må sjekkes er om det er nok kapasitet for produksjon av flytende aluminium.

Føringene er gitt ved:

$$0.98X_{1t} + 0.96X_{2t} \leq 200\,000 \quad (24)$$

hvor $t = 1, 2, 3, 4$.

¹⁸Dvs. at føringene er oppfylt.

- c) 5% Sjekk om kapasitetsføringene i lign.(24) er oppfylt for Wagner-Whitin løsningene for hver familie, dvs. bruk svarene fra oppgave 4b samt lign.(17)-(20).

Konkluder at Wagner-Whitin løsningene faktisk gir optimale løsninger når også kapasitetsføringene inkluderes.



Kontinuasjonseksamen 2017

Eksamen i

SCM200 Lager- og produksjonsstyring

Eksamensdag	: Torsdag 4. jan. 2018
Tid	: 09:00 – 14:00 (5 timer)
Faglærer/telefonnummer	: Bård-Inge Pettersen / 477 11 886
Hjelpemidler	: Alle trykte og skrevne hjelpemidler + kalkulator som kan inneholde data
Antall sider inkl. forsiden	: 15
Målform	: Norsk (bokmål)

Noen generelle råd:

- **Skriv rett inn. Ikke bruk så mye tid på kladding.**
- **Kladdark skal ikke leveres inn. De blir ikke sensurert.**
- **Det er totalt 4 oppgaver.**

Norsk Hydro er Norges 4 største bedrift med en årlig omsetning på rundt 88 milliarder NOK.

Hydro er produsent og global leverandør av aluminium.

Hovedkontoret er i Norge (Oslo), og Hydro har 3 400 ansatte på landsbasis.

I Norge produseres [primæraluminium](#), [valsede aluminiumsprodukter](#) og [vannkraft](#).

Hovedsete til konsernet ligger i Oslo hvor konsernledelsen er lokalisert. Hydro har flere metall- og aluminiumsverk i Norge, blant annet ved Holmestrand, Karmøy, Høyanger, Porsgrunn, Sunndal og Årdal.

Vi skal i denne eksamen se nærmere på [Årdal verk](#), som ligger i enden av Sognefjorden, se figur 1.

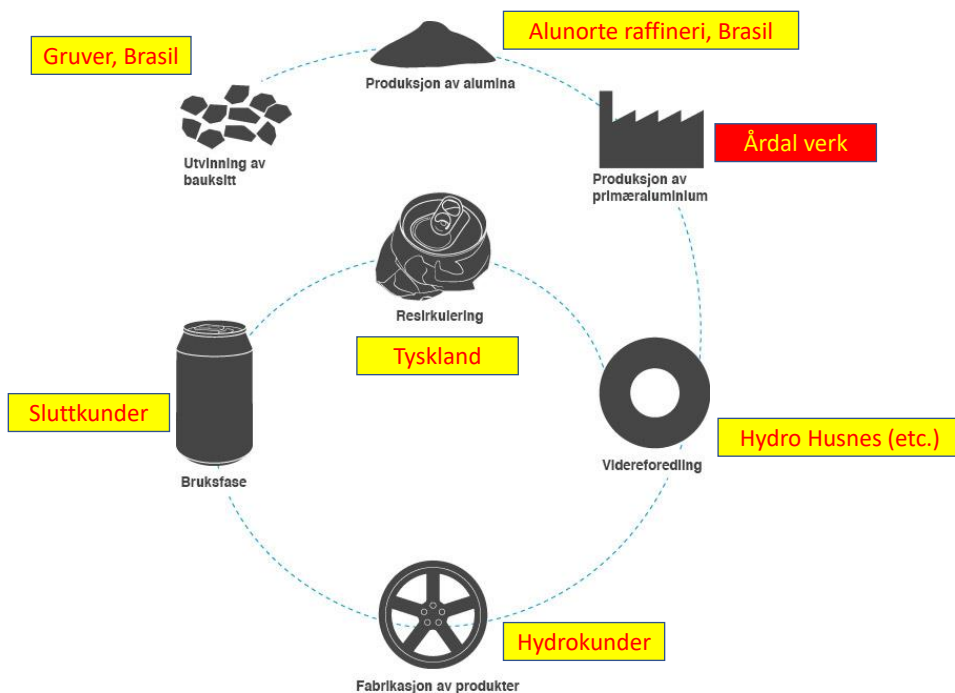


Figur 1: Hydro Aluminium AS i Årdal.

Produksjon av aluminium er en **tidkrevende** og **energikrevende** prosess. Men når aluminium først er laget kan den resirkuleres igjen og igjen uten å miste sine gode egenskaper.

Produksjonsprosessen består av flere faser.

I figur 2 vises en samlet oversikt som viser hele løpet fra gruve til resirkulering.

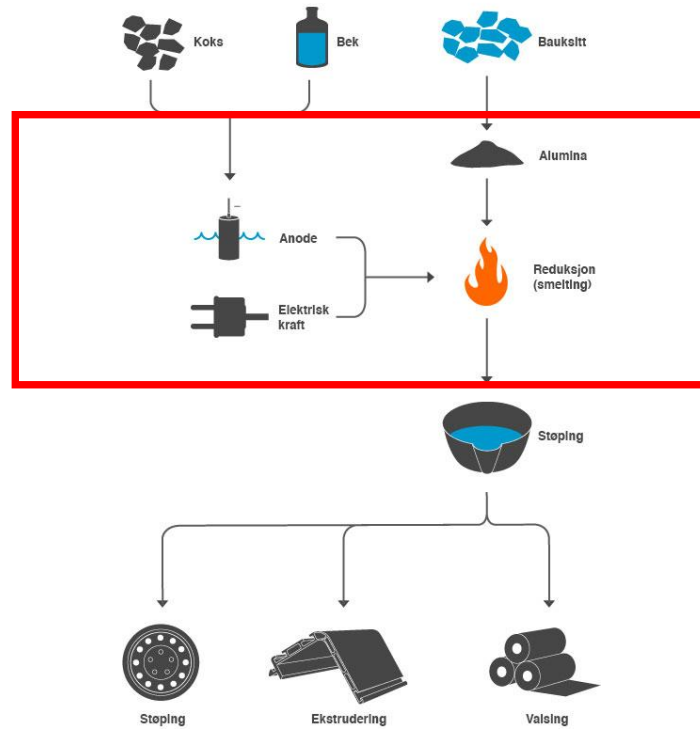


Figur 2: Produksjonsfasene for aluminium.

Som vi ser fra figur 2, så kommer Årdal verk inn under steget ”*produksjon av primæraluminium*” i den totale verdikjeden.

I produksjonen av primæraluminium, inngår tre råvarer: (se figur 3)

1. alumina
2. anoder
3. strøm



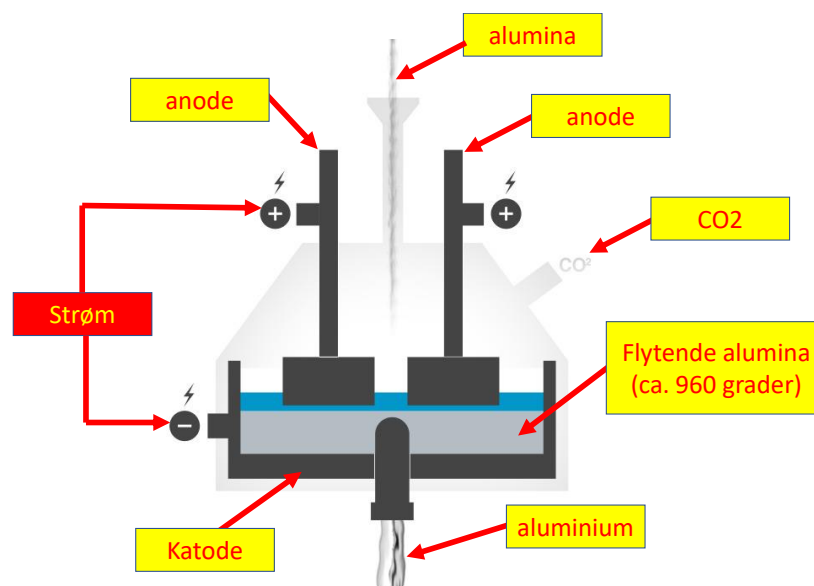
Figur 3: Råvarene i produksjonen av primæraluminium.

Aluminiumatomet i alumina er bundet til oksygen. Dette båndet må brytes ved **elektrolyse** for å produsere metallet aluminium.

Elektrolyseprosessen

Alumina → aluminium og CO_2 :

1. Alumina transporteres til anleggene og inn i en celle (en stor beholder). Her blir aluminaen oppløst i et elektrolytisk bad.
2. Alumina har et høyt smeltepunkt, og omdannes gjennom en elektrolytisk prosess. I elektrolysecellene kjøres det sterk likestrøm mellom en negativ katode og en positiv anode, begge lagd av karbon. Anoden forbrukes i prosessen, ettersom den reagerer med oksygenet i aluminaen og danner CO_2 .
3. Flytende aluminium tas ut fra cellene med spesialiserte redskap og støpes til pressbolt, valseblokker eller andre typer blokker, avhengig av hvordan de skal bearbeides videre.



Figur 4: Elektrolyseprosessen.

Oppgave 1: (prognostisering, 25 %)

Vi skal i denne oppgaven prognostisere det årlige behovet for alumina ved Årdal verk. Tabell 1 viser de årlige forbrukene av alumina fra 2011 - 2016 ved Årdal verk.

År t , 2011 - 2016 ($t = 1..6$)	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Forbruk alumina X_t	700	690	710	690	740	700

Tabell 1: Historisk årlig forbruk av alumina, X_t (i 1000 tonn).

- a) 5% Vis at prognosen for behovet for alumina for 2017 blir 706.1 tusen tonn, dvs. vis at:

$$F_7 = 706.1 \quad (1)$$

Bruk eksponensiell glatting med glattingsparameter 0.2, dvs. $ES(\theta = 0.2)$.

- b) 10% Vis ved regning at:

$$MFE = 1.52 \quad (2)$$

for metoden brukt i oppgave 1a.

Hva er MFE et mål på?

Bør Hydro beholde modellen eller forkaste den til fordel for en trendbasert metode? Begrunn kort svaret.

MFE er et måletall som oppdateres for hver ny observasjon man får. I stedet for å beregne MFE på nytt ved hjelp av alle observasjonene, kan en beregne ny verdi for MFE ved hjelp av den gamle verdien.

Oppdateringsformelen for eksponensiell glatting er gitt ved:

$$\begin{array}{l} MFE_1 = 0 \quad (3) \\ MFE_{t+1} = \frac{(t-1)MFE_t + E_{t+1}}{t}, \quad \text{for } t \geq 1 \quad (4) \end{array}$$

hvor t representerer forrige periode og $t + 1$ ny periode og $E_t = X_t - F_t$ er prognosefeil for periode t .

c) 5% Nevn to fordeler ved å bruke oppdateringsformelen i likn. (4).

Anta forbruket i år 2017 ble 750 tusen tonn alumina, dvs. $X_7 = 750$.

d) 5% Bruk oppdateringsformelen i likn. (4) til å beregne ny verdi for MFE_7 , når vi har at $MFE_6 = 1.52$.¹

Hva blir nå konklusjonen fra MFE? Begrunn svaret.



¹Dvs. sett $t = 6$ i likn. (4). Husk at $E_7 = X_7 - F_7$, hvor $F_7 = 706.1$

Oppgave 2: (EOQ, 25 %)

Vi skal nå fortsette å planlegge anskaffelsen av alumina.

Hydro bestiller alumina fra [Alunorte](#) i Brasil, verdens største aluminiumsraffineri, se figur 5. Alumina leveres via kjemiske tankskip.

Vi skal bestemme en bestillingsplan for 2017 for alumina slik at totale lager- og bestillingskostnader minimeres.

Hydro opererer med konstant etterspørsel

$$D = 717 \text{ tusen tonn} \quad (5)$$

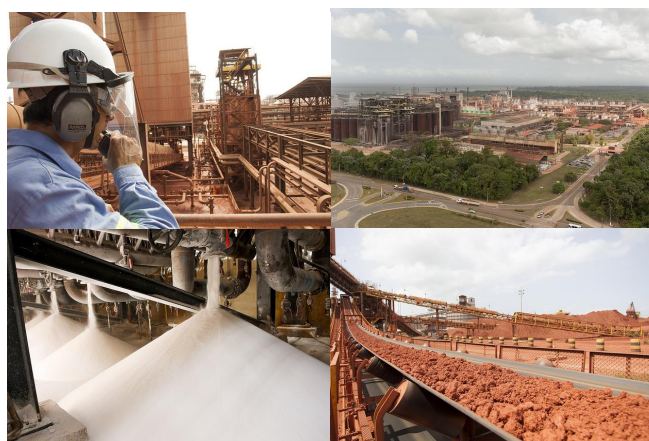
alumina per år.

Anta videre at bestillingskostnaden for alumina er estimert til $S = 8\,000\,000$ NOK.

Lagerkostnaden H per år er 10% av innkjøpsprisen, som er $C = 15\,000$ NOK per tonn alumina.

Bestillingskostnaden for alumina er så høy pga. høye transportkostnader.

Anta tankskipet har en kapasitet på 30 000 tonn alumina.



Figur 5: Alumina fra Brasil.

- a) 10% Hydro har bestemt seg for å bruke EOQ-formelen for å bestemme bestillingsplanen for alumina.

Begrunn både med regning og ord hvorfor antakelsen om total leveranse er oppfylt i dette tilfellet.²

- b) 5% Anta at Hydro bestiller

$$X^* = 27\,655 \text{ tonn} \quad (6)$$

alumina hver gang de bestiller.

Hva menes med omløpstid for lageret?

Hva er omløpstiden for lageret av alumina ved Årdal verk?³

Anta ledetiden for leveransen er $L = 5$ dager.⁴

Det er viktig for Årdal verk at produksjonen går uten stopp siden kostnadene ved stans i produksjonen er svært høye. De ønsker derfor å bestemme et sikkerhetslager.

Anta etterspørselen er normalfordelt med forventningsverdi $D = 717\,000$ tonn alumina per år og standardavvik $\sigma = 50\,000$ tonn per år.

- c) 10% Bestem størrelsen på sikkerhetslageret SS slik at det er 99% sannsynlighet for å *ikke* gå tomt på lager. Bruk at sikkerhetsfaktoren er $z_{99} = 2.33$.
Avrund svaret til nærmeste heltall.

Regn ut bestillingspunktet R når sikkerhetslageret er inkludert.

■

²Husk at tankskipet har en kapasitet på 30 000 tonn.

³Skriv svaret i antall uker. Avrund til en desimal.

⁴Ledetiden L er tiden fra bestilling er gjort til aluminaen er på lager hos Hydro. Man kan lure på om en så kort ledetid er mulig? Dette er mulig f.eks. hvis man antar at Hydro har mellomlager i Europa.

Oppgave 3: (fasilitetsdesign, 25 %)

Årdal verk produserer også **anoder** som benyttes i elektrolyseprosessen ved produksjon av primæraluminium, se figur 6.

Årdal har allerede 5 eksisterende lager og 3 produksjonshaller for aluminium. De har nå bestemt at det skal opprettes et *mellomlager*, som skal ligge *nærmere* produksjonshallene, slik at utskiftningen av anodene går mer effektivt.

Dette mellomlageret fylles fra de 5 andre lagrene, se figur 7.

Årdal verk har identifisert *to* mulige lokasjoner for dette mellomlageret, og ønsker å bestemme *hvilken* lokasjon skal benyttes slik at totale transporttider per år minimeres.

Investeringskostnadene er lik for de to lokasjonene.



Figur 6: Anoder i Årdal.

Hydro sitt anlegg i Årdal har estimert årlig etterspørsel etter anoder for hver produksjonshall i tabell 2. Alle tall er gitt i antall 1000 anoder.

	Produksjonshall 1	Produksjonshall 2	Produksjonshall 3
Etterspørsel D_j	2	2.5	3

Tabell 2: Etterspørsel D_j (i antall 1000 anoder), hvor $j = 1, \dots, 3$.

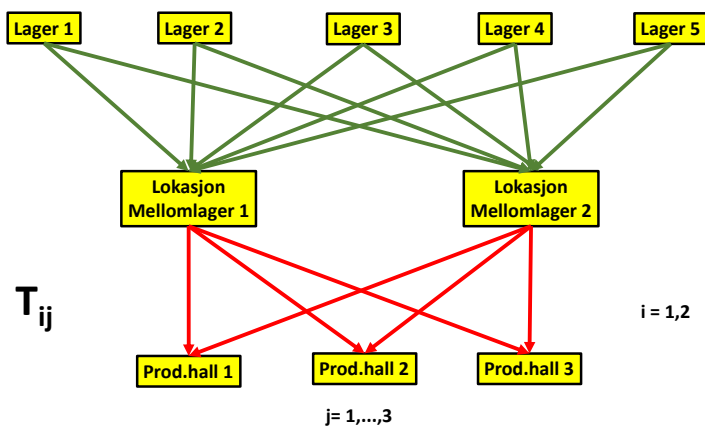
Hver rute, fra mulig lokasjon for mellomlager til produksjonshall, har en transporttid T_{ij} assosiert med seg.⁵ Disse kostnadene er gitt i tabell 3, og tallene er gitt i minutter.

	Mulig lokasjon 1	Mulig lokasjon 2
Produksjonshall 1, T_{i1}	30	10
Produksjonshall 2, T_{i2}	10	40
Produksjonshall 3, T_{i3}	20	30

Tabell 3: Transporttidene T_{ij} (i antall minutter), hvor $i = 1, 2$ og $j = 1, \dots, 3$.

⁵Vi har valgt indeksen $i = 1, 2$ for de to mulige lokasjonene og $j = 1, 2, 3$ for produksjonshallene.

- a) 2.5% Er problemet et lokasjonsproblem? Begrunn svaret.
- b) 2.5% Er problemet et allokeringsproblem? Begrunn svaret.
- c) 2.5% Definer dataene i problemet.
- d) 2.5% Definer variablene i problemet.⁶
- e) 2.5% Definer målfunksjonen i problemet.
- f) 2.5% Beskriv føringene i problemet.



Figur 7: Transporttidene T_{ij} . Transporten fra lagrene til mellomlageret (de grønne pilene), skal ikke inkluderes i modellen.

⁶Transporttidene fra lagrene til mellomlageret er ikke inkludert i modellen siden den skjer før anodene må byttes ut.

Planleggerne ved Årdal verk legger merke at ved noen tilfeller har rutene som går direkte fra lager til produksjonshall *kortere* transporttid enn fra mellomlageret. Se figur 8.

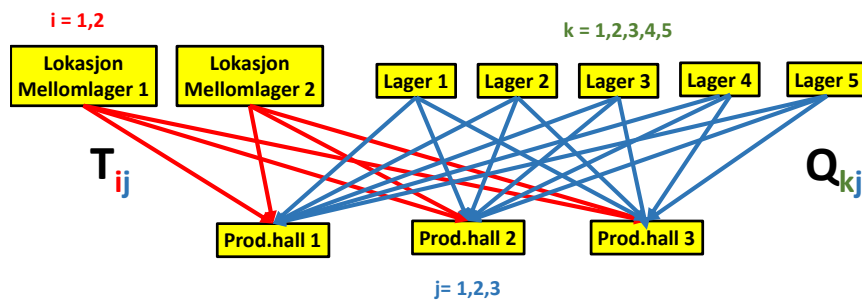
De ønsker derfor å inkludere denne muligheten i modellen. Transporttidene fra lagrene til produksjonshallene er gitt i tabell 4

	Lager 1	Lager 2	Lager 3	Lager 4	Lager 5
Produksjonshall 1, Q_{k1}	30	40	30	20	30
Produksjonshall 2, Q_{k2}	10	40	20	30	20
Produksjonshall 3, Q_{k3}	20	30	40	35	30

Tabell 4: Transporttidene Q_{kj} (i antall minutter) fra gitt lager til produksjonshall, hvor $k = 1, \dots, 5$ og $j = 1, \dots, 3$.

g) 2.5% Er problemet nå et allokeringsproblem? Begrunn kort svaret.

h) 7.5% Utvid modellen slik at muligheten for direkte levering fra lager til produksjonshall er inkludert.⁷



Figur 8: Transporttidene T_{ij} og Q_{kj}

⁷Dette er en A-oppgave.

Oppgave 4: (Wagner - Whitin, 25 %)

Vi skal nå planlegge en 6 ukers master produksjonsplan for anodene ved Årdal verk.

Etterspørselen for anoder for de neste 6 ukene er gitt i tabell 5.
All etterspørsel skal oppfylles.

	uke 1	uke 2	uke 3	uke 4	uke 5	uke 6
Etterspørsel D_t	600	850	800	850	600	800

Tabell 5: Etterspørsel D_t etter anoder de neste 6 ukene, dvs. $t = 1, \dots, 6$.

Det tar 15 timer å igangsette produksjonen av anoder, dvs. oppstartstiden er 15 timer.
Hver slik oppstartstime koster Hydro 10 000 NOK.

Anta at startslageret er 150 anoder, mens sluttlageret er fastsatt til 300 anoder.
Lagerkostnaden H per anode per uke er estimert til 200 NOK.

a) 15% Løs problemet ved hjelp av Wagner-Whitin algoritmen. ⁸

⁸Dvs. regn ut:

- minimale lager- og setupkostnader $C^* = C_{xxxxx}$
- bestillingsplan Y_t , hvor $t = 1, \dots, 6$.
- optimale produksjonsmengder X_t , hvor $t = 1, \dots, 6$
- optimale lagermengder I_t , hvor $t = 1, \dots, 5$

Produksjonsplanleggerne ved Årdal legger merke til at svaret fra oppgave 4a *kun* gir en *overlagring* fra uke 5 til uke 6. De stadfester at dette kommer av at etterspørselen i uke 5 er relativt *lav* i forhold til setupkostnaden, slik at det blir optimalt å overlagre.

Planleggerne er alle enige om at stans i produksjonen ikke er bra, så de ønsker å flytte litt av etterspørselen i uke 6 frem til uke 5.

Selgerne har allerede kontaktet noen av de største kundene og fått godkjent muligheten for å få fremskyndet noe av etterspørseelen.

- b) 10% Hva er den *minste* mengden av etterspørselen i uke 6 som må fremskyndes til uke 5 slik at overlagring ikke blir optimalt?⁹

■



Figur 9: Just-In-Time. Intet lager.

⁹Husk å sjekke at det fremdeles blir produksjon i periode 6. Den totale optimale planene blir da en klassisk Just-In-Time plan.