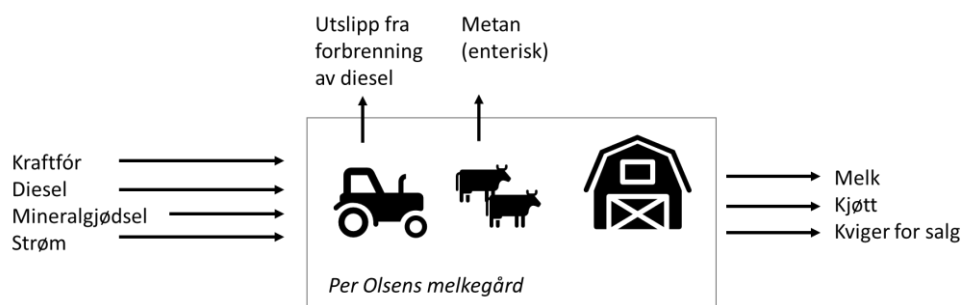


Per Olsen hadde en bondegård

Et gårdsbruk er et eksempel på et produksjonssystem med mange produkter. I dette tilfellet har Per Olsen et melkebruk, det vil si gården produserer melk, melkekyr og storfe til slakt. Hvis man ønsker å sammenligne ett av disse produktene med et alternativ er man avhengig av å allokere innsatsmidler og utslipp mellom de tre produktene, for eksempel om man vil sammenligne klimautslippene fra storfe-kjøtt med utslipp fra svinekjøtt, eller utslippene per liter melk fra en typisk melkegård som Per Olsens gård med melk fra økologisk landbruk (som kanskje er et integrert bruk med også grønnsaksproduksjon) eller et større melkebruk der kjøttproduksjonen er av mindre betydning. For å sammenligne på tvers av disse må regne klimautslippene per enhet produkt og dermed *allokere* prosessinnsats og prosessutslipp mellom produktene.

Tallene er hentet fra en norsk LCA-studie fra 2013 der Bioforsk og NTNU vurderte arketyper for norske gårdsbruk. Tabellene under summerer noen av tallene for et midtnorsk melkebruk. Vi gjør mange forenklinger, blant annet har vi ikke med utslipp av N₂O og metan fra kugjødelse og kunstgjødelse. Mer informasjon er tilgjengelig i [artikkelen](#).

Her følger et forenklet flytskjema for Per Olsens gård. Gården drives som ett samlet system så det er ikke mulig å skille ut de enkelte delene av produksjonen. Melkeproduksjonen er avhengig av kjøttproduksjon, og motsatt, og hele gården er derfor å betrakte som én prosess som vi må *dele i tre* siden vi har *tre produkter*.



Figur 1: Forenklet flytskjema for Per Olsens bondegård. Per er en typisk trønderbonde, det vil si han har en besetning på 20 melkekyr, 10 kviger, 10 kvigekalver, 10 oksekalver og 10 okser. Disse fores delvis med kraftfôr og delvis med silofôr fra egen produksjon. Dyra spiser ikke alle det samme eller like mye, og enteriske utslipp varierer mellom dyr avhengig av hva de spiser.. Besetnings sammensetning har dermed mye å si for fôr-forbruket og indirekte utslipp fra fôrproduksjon, og de enteriske utslippene fra gården.

Årlige utslipp og CO₂-ekvivalenter

Utslipp	Årsak	Menge per år	CO ₂ -ekvivalenter per kg utslipp
CO ₂	Dieselforbrenning	9 980 kg CO ₂	1
CH ₄	Enteriske utslipp fra dyra	5 270 kg CH ₄	34

Årlig forbruk av innsatsmidler, med CO₂-ekvivalenter fra produksjonen av hver enkelt

Input	Forklaring	Menge per år	Produksjonsutslipp
Kraftfôr	Produksjon av kraftfôr	60 000 kg	0.63 kg CO ₂ e/kg
Diesel	Produksjon av diesel	3 900 liter	0.25 kg CO ₂ e/liter
Kunstgjødelse	Produksjon av gjødselvarer	3 195 kg	1.88 kg CO ₂ e/kg
Strøm	Produksjon av strøm	26 000 kWh	0.050 kg CO ₂ e/kWh

Årlig produksjon fra Per Olsens gård. Kjøtt er både kviger og okser.

Produkt	Mengde per år	Enhetsverdi
Melk	133 000 L	4,00 kr/liter
Kjøtt, slaktevekt	5 430 kg	40 kr/kg
Kviger for salg	1 stk	11 250 kr/dyr

Oppgaven går ut på å regne ut klimautslippene per liter melk. Vi skal bruke økonomisk allokering, altså dele utslippene basert på verdien av de ulike strømmene. Matematikken for dette er beskrevet i Bakshi kap 10.1.2, som «partitioning» side 182-184. Det vil si at vi ønsker å:

- Definere allokeringskoeffisientene w_{milk} , w_{meat} , w_{heifer} basert på den økonomiske verdien av de ulike strømmene og bruke denne i teknologimatrisa for å dele opp gården i tre prosesser. (*Heifer* er kvige på engelsk).
- Sette opp *teknologimatrise* A for systemet med tre ulike produkter fra gården
- Definere *intervensjonsmatrisa* B og også her dele opp utslippene mellom de tre prosessene for gården*
- Definere *sluttforbruk* (final demand, f), der dette er definert som 1 liter melk
- Beregne utslipp per liter melk
- Til slutt sammenligne dette med å drikke noe annet, for eksempel fruktjuice fra Malta som har et utslipp på 0.4-1.2 kg CO₂e per liter avhengig av hva det er laget av¹.

* En enkel måte å løse dette på er ved å regne om alt til CO₂-ekvivalenter og bare bruke dette som utslipp direkte. En mer «korrekt» og avansert måte er vist i Bakshi kap 15.1.2, der man regner med bruk av karakteriseringsmatrise. Da definerer man først utslippene som CO₂ og metan fra hver prosess og setter dette inn i intervensjonsmatrisa, og deretter karakteriserer denne (regner denne) om til CO₂-ekvivalenter.

Veiledning til de ulike operasjonene

Her følger overordnet trinnene i oppgaven. Lenger ned er vist de python-kommandoer dere behøver for oppgaven.

1. Regne ut allokeringskoeffisienten for melk, kjøtt og kviger

Allokeringskoeffisienten gjenspeiler verdien av hver strøm. Det vil si at 5430 kg kjøtt melk har en verdi på 5430 kg * 40 kr/kg = 217 200 kr. Gjør vi dette for alle produktstrømmene er samlet verdi av produktene 773 750 kroner, hvorav inntekten fra salg av kjøtt er 28.1 %. Det vil si at $w_{\text{meat}} = 0.281$.

Gjør så tilsvarende for de andre produktene for å regne ut w_{milk} og w_{heifer}

2. Sett opp systemet i Jupyterhub.

For å gjøre dette må dere først definere en *teknologimatrise* med de ulike prosessene, altså i) kraftforproduksjon, ii) dieselproduksjon, iii) gjødselproduksjon, iv) strømproduksjon, og v) gården med de tre produktene: v1) melk, v2) kjøtt, v3) kviger. Dette er en 7*7 matrise siden vi har 7 prosesser. Fyll inn teknologimatrisa med allokeringskoeffisientene, slik at dere deler opp forbruk av innsatsmidler (fôr, diesel, gjødsel, strøm) mellom produktene. En forklaring for dette er vist i Bakshi side 183.

¹ LCA av maltesisk juice: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.067>

Eksempeloppgave for inventarberegning og allokering i flerproduktsystem: Per Olsens melkebruk.

Systemet har sju produkter: kraftfor, diesel, mineralgjødsel, strøm, melk, kjøtt og kviger. Hvis vi definerer et sluttforbruk på 1 liter melk vil det regne ut utslippene fra systemet per dette sluttforbruket.

Teknologimatrisen skal se ut som følger om dere har samme rekkefølge på prosessene:

Teknologimatrise A – prosessbalanse mellom innsatsmidler inn (negative) og produkter ut (positive)

	Kraftfor	Diesel	Gjødsel	Strøm	Melk	Kjøtt	Kviger
Kraftfor	1	0	0	0	$-60000 \cdot w_{\text{milk}}$	$-60000 \cdot w_{\text{meat}}$	$-60000 \cdot w_{\text{heifer}}$
Diesel	0	1	0	0	$-3900 \cdot w_{\text{milk}}$	$-3900 \cdot w_{\text{meat}}$	$-3900 \cdot w_{\text{heifer}}$
Gjødsel	0	0	1	0	$-3195 \cdot w_{\text{milk}}$	$-3195 \cdot w_{\text{meat}}$	$-3195 \cdot w_{\text{heifer}}$
Strøm	0	0	0	1	$-26000 \cdot w_{\text{milk}}$	$-26000 \cdot w_{\text{meat}}$	$-26000 \cdot w_{\text{heifer}}$
Melk	0	0	0	0	133000	0	0
Kjøtt	0	0	0	0	0	5430	0
Kviger	0	0	0	0	0	0	1

Tabellen er laget ved å balansere inn og ut for hver prosess (kolonnene i systemet) per enhet, altså per kg kraftfor, kg gjødsel, kWh strøm osv. Vi kunne like gjerne satt det opp i andre enheter, men da må vi passe på at intervensjonsmatrisa også er i disse enheter. For eksempel kan kolonnene i teknologimatrisa og intervensjonsmatrisa være per produksjon enhet (som over for de ulike innsatsmidlene) eller per år (som over for gården), eller per tonn i stedet for kg. For gården har vi benyttet årlige tall for både innsatsmidler (negative strømmer i tabellen over), produktene (positive verdier i tabellen over), og utslippene (i intervensjonsmatrisa under).

I dette eksempelet er det ikke beskrevet andre innstrømmer (altså innsatsmidler) for prosessene som lager strøm, kraftfor osv. De er heller ikke innbyrdes avhengig av hverandre, altså slik at strøm brukes til produksjon av kraftfor eller gjødsel, men dette er noe som dere vil regne med i innleveringene for LCA.

3. Definer og fyll inn intervensjonsmatrisa

Som sagt over så kan vi som en forenkling regne om utslippene til CO₂-ekvivalenter først, og sette dette opp som utslipp i intervensjonsmatrisa. Altså er utslippene CO₂-utslipp. Andelen av utslippene for hvert produkt regnes ut med samme allokeringskoeffisient som dere brukte for innsatsmidler.

Intervensjonsmatrise B – som i dette tilfellet kun har én dimensjon og derfor er en vektor

	Kraftfor	Diesel	Gjødsel	Strøm	Melk	Kjøtt	Kviger
CO ₂ e	0.63	0.25	1.88	0.05	$U \cdot w_{\text{milk}}$	$U \cdot w_{\text{meat}}$	$U \cdot w_{\text{heifer}}$

Her er det nødvendig å regne hva som er U (utslipp) for gården per år. Strengt metodisk burde vi etablere en intervensjonsmatrise og deretter karakterisere denne med en karakteriseringsmatrise, slik det er vist i Bakshi kap 15.1.2 (side 300-301), men vi kan for enkelt skyld i dette eksempelet regne alt om til CO₂-ekvivalenter og bruke dette som «klimautslipp». Vi er gitt at det er 34 kg CO₂e per kg metan, noe som betyr at årlige utslipp av CO₂-ekvivalenter fra gården er:

$$U = 9980 \cdot 1 + 5270 \cdot 34 = 189\,160 \quad \text{med enhet [kg CO}_2\text{e/år]}$$

Eksempeloppgave for inventarberegning og allokering i flerproduktsystem: Per Olsens melkebruk.

4. Regn ut utslipp per liter melk og sammenlign med for eksempel juice.

Sluttforbruk (*final demand, f*) – et sluttforbruk på 1 liter melk

Kraftfor	Diesel	Gjødsel	Strøm	Melk	Kjøtt	Kviger
0	0	0	0	1	0	0

Vi kan nå regne ut de samlede utslippene som $R = BA^{-1}f$.

5. Test ut konsekvensen av å bruke massebasert allokering.

Når vi gjør slike analyser for bedrifter er det ikke alltid lett å få tak i priser for alle produkter, slik at vi kanskje må bruke masseallokering.

- Regn ut de nye allokeringskoeffisientene ved masse-basert allokering. Har dette noe å si for klimautslippene per liter melk? En kvige for salg veier rundt 300 kg.
- Hva hvis melkeprisen økes til 4.50 kr per liter. Hvordan påvirker dette utslippene?
- Kan dere tenke dere andre «vitenskapelige» enheter som kan brukes til å fordele utslippene?
- I hvilken grad påvirkes sammenligningen med juice av valg av allokeringsprinsipp?

6. Refleksjon.

Hvordan er allokering relevant i vurdering av teknologi?

- Allokering er et gjennomgående tema for resirkuleringssystem, der «primærproduksjonen» må deles mellom påfølgende livsløp. Når man bruker resirkulert stål eller plast, er det rettferdig at dette regnes som «uten miljøpåvirkning» eller burde en andel av miljøpåvirkningen følge til neste bruker? Mange avfallsbehandlinger er også flerproduktsystem siden de både behandler avfall (med en avgift på innlevert avfall) og gjerne gjenvinner dette til flere materialer eller materialkvaliteter.
- Mange fysiske produkt løser mange funksjoner og kan derfor erstatte ett eller flere produkt.
- I en sirkulær økonomi vil innsatsmidler være biprodukt fra en prosess (som for eksempel avfallsstrømmer) eller ofte være ett av flere produkter fra en prosess?

Kommandoer i python

Dere vil ha bruk for følgende kommandoer

Opprette arrays/tallrader `np.array([tallrad])`, for eksempel `A=np.array([1, 2.2, 3])`

Dette gir en vektor med tallene [1, 2.2, 3]. Vektoren er organisert som en *rad* og en matrise består av flere slike *rader*. Skriver dere `A = np.array([[a, b, c], [0, d, e], [0, 0, f]])` har dere følgende A-matrise:

a	b	c
0	d	e
0	0	f

- Matrisemultiplikasjon: `A@B` merk at for matrisemultiplikasjon benyttes `@`.
- Inverstransformasjon (A^{-1}): `np.linalg.inv(A)`
- Hente ut en enkelt kolonne 1: `A_kolonne = A[:, 1]`
- Hente ut en enkelt rad 1: `A_rad = A[1, :]`
- Hente ut en enkeltverdi `A_verdi = A[x,y]`

Husk at plassering i matriser angis med [0,0] som øverst lengst til venstre. Det første tallet er rader fra toppen og det andre tallet er kolonner fra venstre. Altså er $A[1,2] = e$ for eksempel-matrisa over.

- Vise innhold i en variabel `print(variabelnavn)`

Andre kommandoer dere kan ha bruk for

- Prikkprodukt med invers: `A@np.linalg.inv(B)`
- Determinant: `np.linalg.det(A)`
- Transponering `np.transpose(A)`
- Summere hele vektoren: `v.sum()` #Returnerer ett tall
- Summere hele matrisen: `A.sum()` #Returnerer ett tall
- Summere matrise kolonnevis: `A.sum(axis=0)` #Returnerer en vektor
- Summere matrise radvis: `A.sum(axis=1)` #Returnerer en vektor
- Summering av `A@B` matrisen: `(A@B).sum()`

Skrive tekst: For å opprette en teksttråd må du bruke `"` eller `'''` rundt teksten.

Skrive vanlig tekst: `Tekst = 'Hei, jeg studerer Bærekraftig ingeniørfag'`

MERK! Husk å printe/referere til akkurat det du har kalt en variabel, matrise, tekststreng eller lignende. I eksempelet over er det da viktig å skrive `Tekst` med stor T og ikke `tekst`.

En for-løkke: For å gjenta en instruksjon mange ganger er det mulig å bruke en for-løkke. Man kan bruke den som summetegnet sigma, for eksempel $\sum_{i=1}^6 i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6$ kan skrives som:

```
sum = 0
```

```
for i in range(1,7):
```

```
    sum += i
```

MERK! Vi skriver `range(1,7)` selv om vi vil summere tall fra en til seks. MERK! Kun kode med innrykk hører til løkka.