

# Fotavtrykk og konsekvenser — arbeidskrav

Denne notebooken inneholder oppgaver som dekker følgende i læreboka (Bakshi: Sustainable engineering):

- **Chapter 11: Footprint assessment**
- **Chapter 15: Life cycle impact assessment** (merk revidert versjon av kapittelet på Blackboard)

Grunnleggende koder finner dere i [Python cheat sheet \(files/Python\\_cheat\\_1.1.pdf\)](#).

Følgende er tilgjengelig til støtte for dette arbeidskravet i Jupyterhub under *Assignments*:

- 0-pybasics-tg (bibliotek av koder dere kan bruke i oppgavene, tips: dere vil finne det dere trenger i Cheat sheet'en)
- 3-lcia-chapter\_15 (revidert versjon av læreboka *kapittel 15*). Denne er også delt som pdf på Blackboard.

**Dette arbeidskravet er satt opp med autogenerert retting hver 30 minutt.**

In [1]:



```
1 # Kjør cellen nedenfor før du starter oppgavene
2 import numpy as np
3 import os, imp
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import pandas as pd
6
7 path = '.meta.py'
8 name = path.split('.')[ -2]
9 with open(path, 'rb') as fp:
10     meta = imp.load_module(name, fp, path, ('.py', 'rb', imp.PY_SOURCE))
11
12 import meta
13 assignments = meta.assignments()
```

## Problem 1 - beregne påvirkningsindikatorer (15 poeng)

Kjør cella under for å generere oppgaven (klikk på cella og velg "Run")

In [2]:



```
1 assignments.getAssignment("assignment_1")
```

Out[2]:

Følgende tabell oppgir utvalgte livsløpsutslipp (livsløpsinventar, life cycle inventory) for passasjertransport med høyhastighetstog. Alle tall er i enheter kg per 1 person-km transport (de opprinnelige tallene er fra ecoinvent-databasen og henviser til høyhastighetstog i Tyskland).

Utslipp	Drift, direkteutslipp (kg/person-km)	Strømproduksjon, til drift (kg/person-km)	Vedlikehold (kg/person-km)	Utbygging av jernbane (kg/person-km)	Produksjon av togsett (kg/person-km)
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	0.00E+00	0.03	6.86E-04	6.56E-03	9.35E-04
Dinitrogen monoxide (N <sub>2</sub> O)	0.00E+00	2e-06	2.26E-08	1.83E-07	3.59E-08
Methane (CH <sub>4</sub> )	0.00E+00	0.0001	2.31E-06	1.47E-05	3.66E-06
Sulfur hexafluoride (SF <sub>6</sub> )	3.74E-08	2e-09	7.51E-10	3.45E-09	9.98E-10

Følgende tabell angir karakteriseringsfaktorer for klimapåvirkning (GWP100) fra Recipe Hierarchic-metoden.

Utslipp	kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per kg utslipp
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	1
Dinitrogen monoxide (N <sub>2</sub> O)	298
Methane (CH <sub>4</sub> )	34
Sulfur hexafluoride (SF <sub>6</sub> )	2610

Bruk tabellene til å regne ut samlet klimapåvirkning for 1 person-km transport med høyhastighetstog i Tyskland, i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Angi svaret med Python-variabelen GWP\_1pkm , i enhet kg CO<sub>2</sub>ekv per person-km.

Tips: Du kan forenkle beregningene ved å lagre de to matrisene som np.array() og multiplisere de.

In [3]:



Run

```
1 # Skriv svaret ditt her 😊
2 A = np.array([[0, 0.03, 6.86e-4, 6.56e-3, 9.35e-4],
3               [0, 2e-6, 2.26e-8, 1.83e-7, 3.59e-8],
4               [0, 0.0001, 2.31e-6, 1.47e-5, 3.66e-6],
5               [3.74e-8, 2e-9, 7.51e-10, 3.45e-9, 9.98e-10]])
6 A = np.transpose(A)
7
8 B = np.array([[1], [298], [34], [2610]])
9
10 #GWP_1pkm = (A*B).sum() fungerte uten transpose men det gir ikke mening matematisk så
11 #kan ikke gange en 4x5 matrise med en 4x1
12 GWP_1pkm = A.dot(B).sum()
13 print(GWP_1pkm)
```

0.04306815039

**Kjør cella under for å sjekke for formatteringsfeil i resultatene dine**

In [4]:



```
1 assert type(GWP_1pkm) in [int, float, np.int64, np.float64], 'The answer(s) must be
2
```

## Problem 2 - beregne normaliseringsresultater (15 poeng)

Kjør cella under for å generere oppgaven (klikk på cella og velg "Run")

In [5]:



```
1 assignments.getAssignment("assignment_2")
```

Out[5]:

Normalisering er noe man gjør i konsekvensvurdering i LCA for å vurdere den relative betydningen av miljøpåvirkningsresultater. Følgende tabell oppgir miljøpåvirkningsindikatorer for 1 person-km passasjertransport med høyhastighetstog i Østerrike.

Merk at tallene ikke er den samme som vi brukte i Problem 1.

Påvirkningskategori	Indikator	Verdi
Global warming	kg CO2 eq	5.30E-02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	6e-05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.0002
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.13E-05
Marine eutrophication	kg N eq	1.66E-06
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.002
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.05E-03
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.06
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0.0003
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1.24E-02
Water consumption	m3	0.0009

Tabellen under angir normaliseringsfaktorer for de samme miljøpåvirkningene, fra Recipe Hierarchic-metoden og globale (World) utslipp fra 2020.

Påvirkningskategori	Indikator	Normaliseringsfaktor World (2010) H
Global warming	kg CO2 eq	1.25E-04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	3.91E-02
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2.44E-02
Freshwater eutrophication	kg P eq	1.54E+00
Marine eutrophication	kg N eq	2.17E-01
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	8.15E-01
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.61E-01
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	6.71E-03
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	8.33E-06
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1.02E-03
Water consumption	m3	3.75E-03

Bruk disse to tabellene til å regne ut normaliserte miljøpåvirkninger for alle påvirkningskategoriene, i den samme rekkefølgen som oppgitt i tabellene. Angi svaret som en Python-array med navn `norm_scores` (det skal være en `numpy.array`).

In [22]:



Run

```
1 # Skriv svaret ditt her 😊
2 VALUE = np.array([5.3e-2, 6e-5, 0.0002, 2.13e-5, 1.66e-6, 0.002, 3.05e-3, 0.06, 0.0001])
3 NGAIN = np.array([1.25e-4, 3.91e-2, 2.44e-2, 1.54, 2.17e-1, 8.15e-1, 3.61e-1, 6.71e-1, 0.0001])
4
5 norm_scores = VALUE/NGAIN
6 print(norm_scores)
```

```
[4.24000000e+02 1.53452685e-03 8.19672131e-03 1.38311688e-05
 7.64976959e-06 2.45398773e-03 8.44875346e-03 8.94187779e+00
 3.60144058e+01 1.21568627e+01 2.40000000e-01]
```

**Kjør cella under for å sjekke for formatteringsfeil i resultatene dine**

In [19]:



```
1 assert type(norm_scores) == np.ndarray, 'Variabelen norm_scores må defineres som et np.ndarray'
2 assert np.shape(norm_scores) == (11,), 'Variabelen norm_scores skal ha dimensjoner (11,)'
3
```

## Bonusoppgave til refleksjon

Hvilken påvirkningskategori har høyest normaliseringsverdi? Hva betyr det å ha en høy normaliseringsverdi? Hva betyr det hvis normaliseringsverdien er større enn 1 ( $>1$ ) for en påvirkningskategori?

### Problem 3 - beregne endepunktsindikatorer (15 points)

Kjør cella under for å generere oppgaven (klikk på cella og velg "Run")

In [8]:



```
1 assignments.getAssignment("assignment_3")
```

Out[8]:

Recipe-metoden inneholder karakteriseringsfaktorer på midtpunktsnivå for mange ulike påvirkningskategorier, og på endepunktsnivå for skader på menneskehelse, økosystemskader, og ressurttak. Følgende tabell lister opp utslipp og karakteriseringsfaktorer på endepunktsnivå for passasjertransport med høyhastighetstog i Frankrike, oppgitt per 1 person-km.

Påvirkningskategori	Enhet	Drift, direkteutslipp	Strømproduksjon, til drift	Vedlikehold	Utbygging av jernbane	F
Global warming	DALY/person-km	8.32e-11	3.65e-09	6.61e-10	6.09e-09	
Stratospheric ozone depletion	DALY/person-km	0.00e+00	4.28e-12	1.58e-13	1.30e-12	
Ionizing radiation	DALY/person-km	0.00e+00	4.00e-10	4.21e-13	3.34e-12	
Ozone formation	DALY/person-km	0.00e+00	8.70e-12	1.25e-12	1.78e-11	
Fine particulate matter formation	DALY/person-km	0.00e+00	4.47e-09	6.36e-10	1.01e-08	
Human carcinogenic toxicity	DALY/person-km	0.00e+00	7.21e-10	9.29e-11	5.85e-09	
Human non-carcinogenic toxicity	DALY/person-km	0.00e+00	6.98e-10	6.79e-11	7.92e-09	
Water consumption	DALY/person-km	0.00e+00	4.54e-10	6.13e-12	1.03e-10	

Bruk tallene til å regne ut samlet skade på menneskehelse (damage to human health) for 1 person-km passasjertransport med høyhastighetstog i Frankrike. Angi svaret som Python-variabelen `HH_rail_FR`, i enhet DALY per person-km.

In [9]:



Run

```
1 # Skriv svaret ditt her 😊
2 FR = np.array([[8.32e-11, 3.65e-09, 6.61e-10, 6.09e-09, 9.29e-10],
3               [0.00e+00, 4.28e-12, 1.58e-13, 1.30e-12, 2.36e-13],
4               [0.00e+00, 4.00e-10, 4.21e-13, 3.34e-12, 6.46e-13],
5               [0.00e+00, 8.70e-12, 1.25e-12, 1.78e-11, 2.40e-12],
6               [0.00e+00, 4.47e-09, 6.36e-10, 1.01e-08, 1.78e-09],
7               [0.00e+00, 7.21e-10, 9.29e-11, 5.85e-09, 6.26e-10],
8               [0.00e+00, 6.98e-10, 6.79e-11, 7.92e-09, 1.48e-09],
9               [0.00e+00, 4.54e-10, 6.13e-12, 1.03e-10, 1.32e-11]])
10 HH_rail_FR = FR.sum()
11 print(HH_rail_FR)
```

4.6871861e-08

Kjør cella under for å sjekke for formatteringsfeil i resultatene dine

In [10]:



```
1 assert type(HH_rail_FR) in [int, float, np.int64, np.float64], 'Svaret/svarene skal  
2
```

### Bonus questions for reflection

How would you calculate the percentage contribution to health damages from each impact category? How would you calculate the total health damages from “electricity for train operation”?

### Problem 4 - bruke kulturelle perspektiver i konsekvensvurderingen (15 poeng)

Kjør cella under for å generere oppgaven (klikk på cella og velg "Run")

In [11]:



```
1 assignments.getAssignment("assignment_4")
```

Out[11]:

Recipe-metoden inneholder tre ulike kulturelle perspektiv. Disse henspeiler på at mennesker kan vurdere risiko og konsekvenser forskjellig og derfor også modellere årsak-virkningkjeder forskjellig. Følgende tabell oppgir utvalgte utslipp for den funksjonelle enheten 1 person-km passasjertransport med høyhastighetstog i Frankrike.

Utslipp, per 1 person-km	Resipient	Påvirkningskategori	Mengde	Enhet
Carbon dioxide	air	Climate change	23	g
Particulates, <2.5 um	air	Fine partic. matter	18	mg
Sulfur dioxide	air	Fine partic. matter	82	mg
Nitrogen oxides	air	Fine partic. matter	76	mg
Chromium IV	water	Human carcinogen	435	µg
Zinc	water	Human non-carcinog.	6	mg
Water, turbine use, rest of world	raw	Water consumpt.	41	l

Følgende tabell oppgir karakteriseringsfaktorer for skader på menneskehelse for de ulike utslippene i enheter DALY/kg eller DALY/m<sup>3</sup>, for hver av de tre kulturelle perspektivene: individualistisk, hierarkisk, og egalitær.

Utslipp	Enhet	Individualistic (I)	Hierarchic (H)	Egalitarian (E)
Carbon dioxide	DALY/kg	8.12E-08	9.28E-07	1.25E-05
Particulates, <2.5 um	DALY/kg	6.29E-04	6.29E-04	6.29E-04
Sulfur dioxide	DALY/kg	0.00E+00	1.82E-04	1.82E-04
Nitrogen oxides	DALY/kg	0.00E+00	6.92E-05	6.92E-05
Chromium IV	DALY/kg	0.00E+00	6.61E-02	2.21E+00
Zinc	DALY/kg	7.20E-06	1.88E-03	4.49E-01
Water, turbine use, rest of world	DALY/m <sup>3</sup>	3.10E-06	2.22E-06	2.26E-06

Bruk tallene til å regne ut samlet skade på menneskehelse per 1 person-km passasjertransport med høyhastighetstog i Frankrike med bruk av Individualistic (I) kulturelle perspektiv. Angi svaret som Python-variabelen `HH_persp` og bruk enhet DALY per person-km.



In [12]:



Run

```

1 # Skriv svaret ditt her 😊
2 DMG = np.array([8.12E-08, 6.29E-04, 0.00E+00, 0.00E+00, 0.00E+00, 7.20E-06, 3.10E-06
3 EMI = np.array([23e-3, 18e-6, 82e-6, 76e-6, 435e-9, 6e-6,41])
4 EMI = np.transpose(EMI)
5 # HH_persp = (DMG*EMI).sum()
6 HH_persp = DMG@EMI
7 print(HH_persp)

```

0.0001271132328

Kjør cella under for å sjekke for formatteringsfeil i resultatene dine

In [13]:



```

1 assert type(HH_persp) in [int, float, np.int64, np.float64], 'Svaret/svarene skal være
2

```

## Bonusoppgave til refleksjon

Det er mulig å regne prosentvise bidrag fra de ulike utslippene og denne fordelingen ser ulik ut for de tre perspektivene (I/H/E). Hvilket utslipp bidrar mest til helseskader i det individualistiske (I) perspektivet? Hva med det egalitære (E) perspektivet?

## Problem 5 - Studentens klimafotavtrykk (40 poeng)

Denne oppgaven vil være tema for flipped classroom om fotavtrykkanalyser

### a) Klimafotavtrykket til en gjennomsnittlig student (20 poeng).

Oppgaven gjør bruk av klimaintensiteter for ulike forbrukskategorier fra [Exiobase](https://www.exiobase.eu/) (<https://www.exiobase.eu/>), en database laget med miljøutvidet kryssløpsanalyse for en rekke land, inkludert effekter av handel mellom landene. Vi har samlet intensiteter for rundt 200 produkt-kategorier i Norge og et utvalg andre land [her](http://www.dropbox.com/s/codtw6eyovuc9qx/Exiobase37_selected_TEP4295.xlsx?dl=0) ([http://www.dropbox.com/s/codtw6eyovuc9qx/Exiobase37\\_selected\\_TEP4295.xlsx?dl=0](http://www.dropbox.com/s/codtw6eyovuc9qx/Exiobase37_selected_TEP4295.xlsx?dl=0)) om dere har lyst å undersøke mer hva som ligger under.

Under følger klimaintensiteter, arealintensiteter og vannforbruk for ulike forbrukskategorier. Oppgaven er todelt, der dere skal bruke disse intensitetene til å regne klimafotavtrykket til en typisk student (oppgave a, gir poeng), og anvende de samme intensiteter for dere selv (oppgave b, frivillig).

Tilgjengelige midler for en gjennomsnittlig student er kr 13 500 per mnd, fordelt som kr 8 500 per mnd utbetalt fra Lånekassen og kr 5000 etter skatt fra ekstraarbeid, i følge denne nyhetssaken fra 2019 (klippet fra studenttorget.no). Anta at dette er dine månedlige disponible midler og regn ut månedlig **klimafotavtrykk for en slik student** med det budsjettet som er angitt under.

Kjør cella under for å generere oppgaven (trykk på cella og velg "run"). Dere finner også tallene [her](#) ([files/Studenten\\_tall.xlsx](#)) i MS Excel.

In [14]:



```
1 assignments.getAssignment("assignment_5")
```

Out[14]:

Vi er oppgitt følgende intensiteter og forbrukskategorier. Merk enheter som er brukt for disse (per 1000 NOK), og at noen verdier er svært små per krone (per NOK). Bruk det oppgitte budsjettet og intensitetene til å regne ut det månedlige klimafotavtrykket til en slik student.

Oppgi svaret som python-variabelen `student_co2` med enheter kg CO<sub>2</sub>/mnd. Svaret skal være et tall.

### Månedlig budsjett for en gjennomsnittlig student

Forbrukstyper	Kr/mnd
Mat, vegetabilske råvarer og fisk	1200
Mat, kjøtt	600
Drikker, inkludert alkoholholdige	450
Tobakksvarer	50
Telefon og telecom, internett	350
Online abonnement, også streaming	500
Sjampo, velvære	300
Klær, sko	800
Fritidsaktiviteter	1000
Ferieutgifter, aktiviteter	500
Kollektivreiser	600
Husleie, boutgifter	5500
Forsikringer	150
Flyreiser	1000
Strøm	300
Helseutgifter	200
Sportsutstyr	0
SUM	13500

### Klimaintensitet, arealintensitet og vannforbruk per forbrukskategori

Forbrukskategorier	GWP100 (kg CO <sub>2</sub> e / 1000 kr)	Arealbruk (m <sup>2</sup> / 1000 kr)	Vannforbruk (m <sup>3</sup> / 1000 kr)
Mat, vegetabilske råvarer og fisk	70	1.10E-03	1.1
Mat, kjøtt	169	3.30E-03	6.1
Drikker, inkl. alkoholholdige	28	3.50E-05	0.6
Tobakksvarer	42	5.20E-05	4.8
Telefon, internett	5	1.90E-06	0.0
Online abonnement, streaming	22	2.20E-05	0.2
Sjampo, velvære	57	2.50E-05	0.1
Klær, sko	33	2.80E-05	1.1

Forbrukskategorier	GWP100 (kg CO <sub>2</sub> e / 1000 kr)	Arealbruk (m <sup>2</sup> / 1000 kr)	Vannforbruk (m <sup>3</sup> / 1000 kr)
Fritidsaktiviteter	26	9.20E-06	0.1
Ferieutgifter, aktiviteter	20	2.90E-05	0.2
Kollektivreiser	41	2.90E-06	0.0
Husleie, boutgifter	10	2.30E-05	0.1
Forsikringer	5	3.90E-06	0.0
Flyreiser	79	1.10E-05	0.2
Strøm	2	5.50E-07	0.0
Helseutgifter	12	2.20E-05	0.2

### Hvordan plote resultatene i en figur

Totalt klimafotavtrykk per måned kan regnes som prikkprodukt av budsjettposter og klimaintensiteter, med operatoren `@`. Hvis dere ønsker å regne først en vektor med klimautslipp per budsjettpost kan dere bruke `np.multiply`, feks som `bidrag = np.multiply( budsjettposter , klimaintensiteter )`.

Hvis dere definerer en vektor med navn på de ulike budsjettpostene, `navn`, kan dere plote et søylediagram som følger:

`fig = plt.figure(figsize = (20, 5))` setter størrelse på figuren

`plt.bar( navn , bidrag , color ='green', width = 0.6)` velger hva som skal plottes (navn, og bidrag), farge og bredde på søylene

`plt.xlabel("Forbukskategorier")` definere tittel på x-aksen

`plt.ylabel("kg CO2 per mnd")` definere tittel på y-aksen

`plt.title("Studentens månedlige klimafotavtrykk")` definere navn på figuren

`plt.show()`

In [15]:

Run

```
1 # Skriv svaret ditt her 😊
2 budsjettposter = np.array([1.2, 0.6, 0.45, 0.05, 0.35, 0.5, 0.3, 0.8, 1, 0.5, 0.6, 5
3 klimaintensiteter = np.array([70, 169, 28, 42, 5, 22, 57, 33, 26, 20, 41, 10, 5, 79,
4 student_co2 = budsjettposter@klimaintensiteter
```

Kjør cella under for å sjekke formatering

In [16]:

```
1 assert type(student_co2) in [int, float, np.int64, np.float64], 'Svaret/svarene skal
```

### b) Bonusoppgave: lag ditt eget fotavtrykk

- Prøv med deres eget budsjett. Hva er deres største bidrag? Er det forskjell mellom deltagere i gruppa og hva skyldes det?
- Prøv også å regne med de andre miljøpåvirkningene, arealbruk og vannforbruk. Hva er de største bidragene til disse?

Er det mulig å bruke en slik tilnærming i prosjektoppgaven? Dere vil finne mer industrirelevante tall i Excel-

In [17]:



Run

1 # Skriv svaret ditt her 😊