

Opgave 2: Mælkeproduktion pr. hektar og klimaafttryk

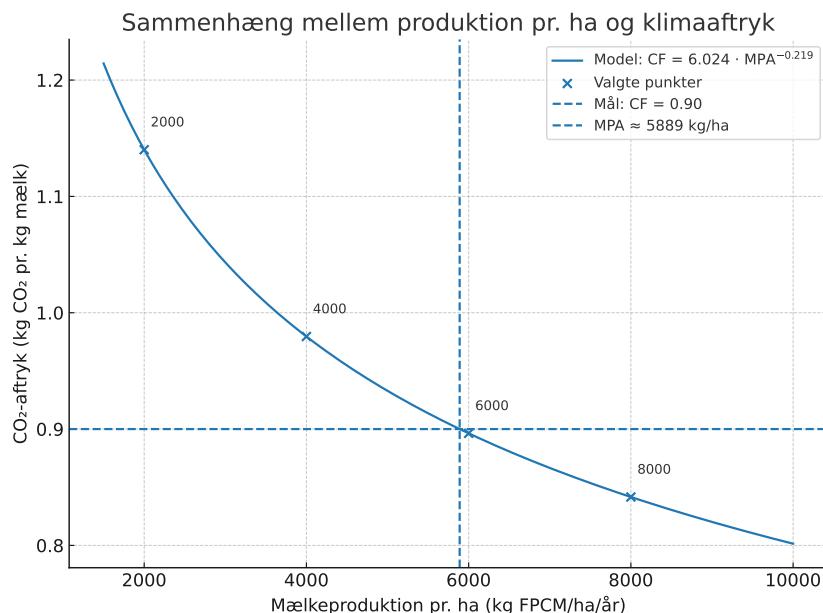
Baggrund

I en forskningsartikel analyseres 24 græsningsbaserede mælkeproduktionsbedrifter i Uruguay med fokus på klimaaftrykket, CF (Carbon Footprint). Et centralt fund er en negativ sammenhæng mellem mælkeproduktion pr. hektar (MPA, målt i kg/ha/år) og klimaaftrykket (CF målt som CO₂ pr. kg mælk)¹. Helt overordnet: når flere kg mælk produceres pr. hektar, falder klimaaftrykket pr. kg mælk. Sammenhængen kan beskrives af en potensmodel:

$$CF = 6.024 \cdot MPA^{-0,219}.$$

Modellen viser, at CF falder, men i aftagende takt, når MPA øges. Artiklen opdeler også bedrifterne i tre klynger med lav, mellem og høj produktion; de højtydende bedrifter har lavere CF, men ofte højere kvælstofbelastning pr. hektar. Dermed peger resultaterne både på effektivitetsgevinster og på mulige miljømæssige trade-offs.².

Graf



(Markerede punkter: MPA = 2000, 4000, 6000, 8000 kg/ha. Stiplet: mål CF = 0.90 og tilsvarende MPA.)

¹Mere præcist måles MPA i kg fedt- og proteinkorrigeret mælk (FPCM) pr. ha pr. år og CF i CO₂-ækvivalenter pr. kg mælk

²Data stammer fra: https://www.researchgate.net/publication/269989556_Practices_to_Reduce_Milk_Carbon_Footprint_on_Grazing_Dairy_Farms_in_Southern_Uruguay_Case_Studies (Practices to Reduce Milk Carbon Footprint on Grazing Dairy Farms in Southern Uruguay: Case Studies)

Opgave

Vi betragter modellen

$$CF = 6.024 \cdot MPA^{-0,219},$$

hvor CF er kg CO₂ pr. kg mælk og MPA er kg mælk/ha/år.

1. **Beregninger.** Bestem CF for MPA = 2000, 4000, 6000 og 8000 kg FPCM/ha/år.
2. **Doblingseffekt.** Hvor stor en procentvis ændring i CF opnås ved at fordoble MPA (a) fra 2000 til 4000 og (b) fra 4000 til 8000? Kommentér dine resultater.
3. **Elasticitet.** En potensmodel $CF = b \cdot MPA^a$ har en *elasticitet* a , dvs. en 1% stigning i MPA ændrer CF med ca. $a\%$. Bestem elasticiteten i vores model og fortolk tallet.
4. **Målsætning.** Hvilken MPA kræves (mindst) for at nå $CF \leq 0,90$?
5. **Diskussion.** Hvilke mulige trade-offs kan opstå, når man øger MPA for at reducere CF pr. kg mælk? Inddrag fx kvælstof pr. hektar, foderstrategi eller dyrevelfærd.

Løsninger

1. CF-beregninger.

For eksempel for MPA = 2000 : $CF(2000) = 6,024 \cdot 2000^{-0,219} = 1,140$ kg CO₂/kg mælk,

$$\begin{aligned} MPA = 2000 &: CF = 1,140, \\ MPA = 4000 &: CF = 0,980, \\ MPA = 6000 &: CF = 0,896, \\ MPA = 8000 &: CF = 0,842. \end{aligned}$$

2. **Doblingseffekt.** Fra forrige opgave ved vi, at $CF_{MPA=2000} = 1,140$ og $CF_{MPA=4000} = 0,980$. Det procentvise fald, når MPA øges fra 2000 til 4000, er da:

$$\frac{CF_{MPA=4000}}{CF_{MPA=2000}} - 1 = \frac{0,980}{1,140} - 1 = -0,14 = -14\%$$

Tilsvarende får vi 14% fald med $CF_{MPA=4000} = 0,980$ og $CF_{MPA=8000} = 0,842$. Man kan vise, at ved en fordobling af MPA ændres CF med faktoren $2^{-0,219}$, dvs. en procentvis ændring på

$$(2^{-0,219} - 1) \cdot 100\% \approx -14\%.$$

Dermed både fra 2000 til 4000 og fra 4000 til 8000 giver ca. 14% reduktion i CF (potensmodel giver den samme procentvise effekt pr. fordobling).

3. **Elasticitet.** $a = -0,219$. En 1% stigning i MPA reducerer CF med ca. 0,219% (negativ sammenhæng).

4. **Målsætning.** Vi løser ligningen $0,90 = 6.024 \cdot MPA^{-0,219}$:

$$MPA = \left(\frac{0,90}{6.024} \right)^{1/-0,219} = 5889 \text{ kg FPCM/ha/år.}$$

5. **Diskussion.** Øget MPA kan kræve mere intensiveret drift og/eller højere fodereffektivitet. Artiklen indikerer, at højere MPA hænger sammen med lavere CF pr. kg mælk, men at kvælstofbelastning pr. hektar kan stige i de mest intensive systemer. Derfor skal reduktion i CF afvejes mod lokale miljøpåvirkninger og driftsmæssige hensyn.