

How to Kill a Fishingbird



AI-generated image of a Norwegian salmon inside a microwave, note that the weight of the fish is wrong in the picture.

Image generated by OpenAI's DALL-E using the prompt 'Norwegian salmon inside a microwave,' retrieved from <https://labs.openai.com>.

Introduksjon

Vi skal utforske hvordan en mikrobølgeovn fungerer i elektromagnetisk kontekst. Dette er spesifikt for å kunne se hvor raskt/i hvilken grad en mikrobølgeovn kunne drept en fisk avhengig av styrken på mikrobølgeovnen. Ettersom vi er i Norge er det ingen fisk mer passende til å representere oss enn laksen.

Planen er å få en oversikt over når en gjennomsnittlig laks dør på land, deretter modellere laksen utsatt for mikrobølger fra mikrobølgeovnen og se på oppvarmingsprosessen ved forskjellige effekter. Med dette vil vi kunne sammenlikne de to punktene (land-død og

mikrobølge-død) og finne ut hvilken effekt vi må stille på ovnen for at vi ikke skal kunne si om fisken døde ved Guds hånd eller menneskets.

Teori

Tid før død

Gjennomsnittet av tall funnet på nettet med litt buffer her og der gir 22 minutter (1320 sek) overlevelsestid for en laks på land. Dette er nok i ideelle forhold, og ettersom fisken vår befinner seg ved romtemperatur halverer vi denne tiden. Ettersom generelle tall er vanskelig å finne, sier vi at den gjennomsnittlige laksen overlever i den gjennomsnittlige tiden.

Oppsummert algebraisk:

$$\text{Levetid} = t = \frac{1320}{2} \text{sek} = 660 \text{sek}$$

$$\text{Størrelse på fisk} = m = 4.5 \text{kg}$$

Det var nok om fisken. Nå til hvordan en mikrobølgeovn fungerer.

Generelle egenskaper til mikrobølgeovn

En mikrobølgeovn opererer ved hjelp av en magnetron som omdanner elektrisk energi til bølger. Det gjør den ved å få elektroner til å bevege seg i sirkulære baner som lager et indusert oscillerende elektromagnetisk felt. Det vil si magnetfelt og elektriskfelt som oscillerer normalt på hverandre. Mikrobølgeovnen bruker oftest en frekvens på 2.45 GHz, og ovnen vi ser for oss varmer fisken med en effekt på mellom 600 W til 1000 W, så dette er området vi ønsker å undersøke.

Vi kan regne ut bølgelengden til mikrobølgene i lufta ved et kjent uttrykk, der f er frekvens og c er lysets hastighet i vakuum.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Modellering av fisken

Vi antar at laksen har standard mål for en laks på 4.5kg. Med dette antar vi dens form som en ellipsoide hvor lengden $2a = 35$ cm, bredden er $2b = 7$ cm og høyden er $2c = 5$ cm. Det gir oss verdiene vi trenger for følgende formel:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

Dielektriske egenskaper

I luften: Vi vil anta vakuum i mikrobølgeovnen dersom bølgene ikke befinner seg i fisken. Vi lar dermed mikrobølgeovnen emitte et felt med styrke E_0 som går gjennom lufta uten tap, altså at E_0 er homogent. Da har vi at

$$\mathbf{E} = E_0 \cdot \cos(\omega t)$$

før bølgene har truffet fisken. Når bølgene penetrerer fisken vil vannmolekylene danne små dipoler som resulterer i et polarisasjons-felt P . Dette polarisasjons-feltet vil være litt bak E-feltets bølger, og dermed få en faseforskyvning tilsvarende δ . Denne verdien kommer vi tilbake til senere.

I fisken: Vi har en dielektrisk konstant (ϵ_r) inne i fisken som er den relative permittiviteten til det elektriske feltet i forhold til vakuum. Denne kan beskrives ved hjelp av $\epsilon_{r'}$ som beskriver evnen fisken har til å sette opp et polarisert felt samt et ledd i det komplekse planet iL_f som beskriver hvor effektivt materialet omdanner elektrisk felt til energi. Beskrevet algebraisk blir den relative permittivitet altså:

$$\epsilon_r = \epsilon_{r'} - iL_f$$

Som om det var magisk vil forholdstallet mellom disse, $\epsilon_{r'}$ og iL_f , være tilsvarende faseforskyvningen δ som vi diskuterte tidligere. Altså:

$$\tan(\delta) = \frac{L_f}{\epsilon_{r'}}$$

Dette er jo alt vel og bra, men nå som vi har satt opp det meste av verdiene vi trenger vil vi kunne påføre noe litt mer tilpasset vår situasjon. Vi antar at fisken består av mye vann og bruker dermed den tilhørende dielektriske konstanten og tapfaktoren (L_f) til vann. Disse verdiene har vi funnet fra tidligere forsøk, som da er basert på empirisk data når vann ved romtemperatur ($20^\circ C - 25^\circ C$) blir utsatt for mikrobølger.

Dermed har vi:

$$\begin{aligned} L_f &= 12 \quad \epsilon_r = 78 \quad \lambda = 12.24 \text{ cm} = 0.1224 \text{ m} \\ \tan \delta &= \frac{L_f}{\epsilon_{r'}} = \frac{12}{78} = 0.153846 \end{aligned}$$

https://water.lsbu.ac.uk/water/microwave_water.html, her er den empiriske dataen hentet fra.

Hvordan bølgene blir påvirket: Ettersom vi antar vakuum vil bølgene være upåvirket utenfor fisken. Dermed vil all energien som går tapt skyldes fiskens oppvarming. For dette trenger vi å introdusere en ny konstant, dempningskonstanten α , gitt ved:

$$\alpha = \frac{\pi L_f}{\lambda \sqrt{\epsilon_{r'}}} = \frac{\pi \cdot \tan(\delta) \sqrt{\epsilon_{r'}}}{\lambda}$$

Denne kan vi allerede regne ut og få:

$$\alpha \approx 34.86$$

Feltet inni fisken kan nå med vår nye kunnskap beskrives som:

$$\mathbf{E} = E_0 \cdot \cos(\omega t) = E_0 e^{-\alpha r}$$

der vi har brukt Eulers likninger ved det andre likhetstegnet. Merk at r ikke er radius, men heller lengden bølgen har penetrert fisken uavhengig av hvor på fisken den treffer. Videre ser vi på hvordan bølgelengden forkortes til mikrobølgene. Da trenger vi et bølgetall gitt som:

$$\kappa = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v_p}$$

, hvor v_p er fasehastigheten. I vakuum er dette da $\kappa_{luft} = \frac{\omega}{c}$. Ettersom vi ikke vet fasehastigheten inne i fisken bruker vi en refraktiv indeks som måler hvor mye en elektromagnetisk bølge blir bremsset i et materiale. For luft er dette omtrent 1. Videre er den refraktive indeksen definert som

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} = \frac{c}{v_p}$$

Her, er det verdt å nevne at siden fisken ikke er magnetiske er $\mu_r = 1$. Dette gir oss et uttrykk for κ og λ_{fisk} som følger:

$$\begin{aligned}\kappa_{fisk} &= n_{fisk} \kappa_{luft} = \sqrt{\epsilon_r} \kappa_{luft} \\ \implies \lambda_{fisk} &= \frac{2\pi}{\sqrt{\epsilon_r} \kappa_{luft}}\end{aligned}$$

Oppvarming

Nå som vi har lagt grunnsteinene for det vi faktisk ønsker, som er energi, eventuelt tap av, så kan vi endelig begynne å se på effekten P . Effekten absorbert på en liten volumenhet er gitt ved:

$$P = \omega \cdot \epsilon \cdot \tan(\delta) E^2 = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon_r \tan(\delta) E^2$$

som, hvis vi virkelig skal bytte ut enheter fordi vi kan, gir:

$$P = 2\pi \frac{c}{\lambda} \epsilon_0 L_f E_0^2 e^{-\pi \frac{L_f}{\lambda \sqrt{\epsilon_r}} r}$$

Vakkert, 🤖 \newline Det siste stykke kommer vi ikke til å bruke, om ikke noen har veldig lyst, men likningen rett ovenfor er allerede løselig med våre kjente verdier. Merk at for å finne all energien absorbert analytisk måtte vi integrert over volumet til fisken, der vi må passe på at E -feltet avtar mer dybden bølgen har gått inn i fisken. Dette kommer vi ikke til å gjøre, i stedet skal vi løse situasjonen analytisk.

Antagelser under modellering

Forenklinger ved mikrobølgeovnen:

- Mikrobølgeovnen lar vi ha en kvadratisk bunn med sider 40 cm og høyde 10 cm. (Ikke en forenkling men nyttig å vite)
- antar vakuum så feltstyrke ol. avtar ikke i lufta
- ingen Faradaybur. Det vil si at mikrobølger reflekteres ikke fra veggene av ovnen eller fra fiskens overflate (kommer kun ovenfra)
- feltet er konstant overalt utenom fisken

Forenklinger ved fisken:

- fisk er ellipsoide
- fisken er sedert, så den ligger i ro
- fisken har samme dielektriske egenskaper som vann
- når fiskens gjennomsnittlige temperatur har økt til 40°C vil vi anse den som død (dvs at den har økt med 20°C)

Numerisk løsning

For å minne oss selv på hva som er sluttmålet. Vi ønsker å finne sammenhengen mellom styrken på mikrobølgeovnen og tiden det tar før en gjennomsnittlig laks dør. Altså E (og hvordan det avtar i fisken) $\rightarrow P$ (og finne hvordan varmen fordeler seg gjennom f

```
In [20]: import numpy as np
from scipy import constants
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
import ipywidgets as widgets
from IPython.display import display
```

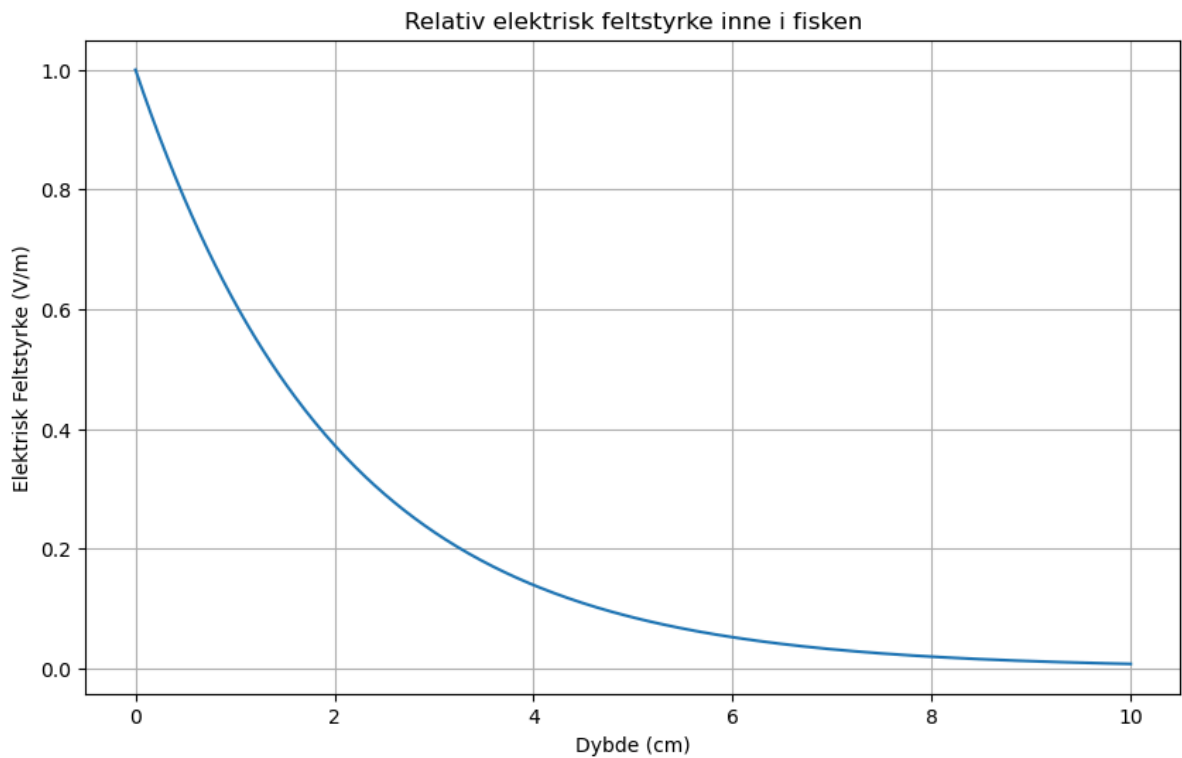
```
In [21]: # konstanter
mu_0 = constants.mu_0
epsilon_0 = constants.epsilon_0
c = 3e8
```

```
In [22]: # mikrobølgeovn
f = 2.45e9 # frekvens på mikrobølger 2.45 GHz
lamb = c / f # bølgelengde på mikrobølger
P = 800 # effekt, denne kommer vi til å endre på senere i koden, kun for modellerin
A = 0.4 * 0.4 # areal av toppen
T = 1 / f # periodetiden til bølgene
omega = 2 * np.pi * f # vinkelhastighet
E0 = np.sqrt((2 * P) / (epsilon_0 * c * A)) # det homogene E-feltet utenfor fisken
```

```
In [ ]: #fisk
epsilon_r = 78 # relativ permittivitet, satt opp av reell og imaginær del
l_f = 12 # tapsfaktoren
tan_delta = l_f / epsilon_r # faseforskyvningen til polarisasjonsfeltet inni fisker
alpha = omega * np.sqrt(mu_0 * epsilon_0 * epsilon_r / 2) * tan_delta # dempningsko
delta = 1 / alpha
m_fish = 4.5 # kg
c_p = 4184 # J/(kg*K)
```

```
In [24]: r = np.linspace(0, 0.10, 500)
E = 1 * np.exp(-alpha * r) # E-feltet som avtar mhp. avstanden den r den er kommet

plt.figure(figsize=(10,6))
plt.plot(r*100, E)
plt.title('Relativ elektrisk feltstyrke inne i fisken')
plt.xlabel('Dybde (cm)')
plt.ylabel('Elektrisk Feltstyrke (V/m)')
plt.grid(True)
plt.show()
```

Her ser vi at den relative feltstyrken avtar eksponensielt inne i fisken. Etter feltet har penetrert omtrent 10 cm er E-feltet tilnærmet 0.

```
In [25]: # definerer ellipsoide
a_ellipsoid = 0.35 / 2
b_ellipsoid = 0.07 / 2
c_ellipsoid = 0.05 / 2
```

```
In [26]: num_points = 200

# polare koordinater - meshgrid
u = np.linspace(0, 2 * np.pi, num_points)
v = np.linspace(0, np.pi, num_points)
U, V = np.meshgrid(u, v)

X = a_ellipsoid * np.cos(U) * np.sin(V)
Y = b_ellipsoid * np.sin(U) * np.sin(V)
Z = c_ellipsoid * np.cos(V) + c_ellipsoid

fig = plt.figure(figsize=(16, 8))

# 3D-modellering av fisken
ax1 = fig.add_subplot(121, projection='3d')
ax1.plot_surface(X, Y, Z, color='pink', alpha=0.6, edgecolor='pink')
ax1.set_xlim([-0.2, 0.2])
ax1.set_ylim([-0.2, 0.2])
ax1.set_zlim([0, 0.1])
ax1.set_box_aspect([4, 4, 1])
ax1.set_xlabel('X')
ax1.set_ylabel('Y')
ax1.set_zlabel('Z')
ax1.set_title('Fisk i mikrobølgeovn')

# Tverrsnitt
ax2 = fig.add_subplot(122, projection='3d')
ax2.plot_surface(X, Y, Z, color='pink', alpha=0.6, edgecolor='pink')
ax2.set_xlim([-0.2, 0.2])
```

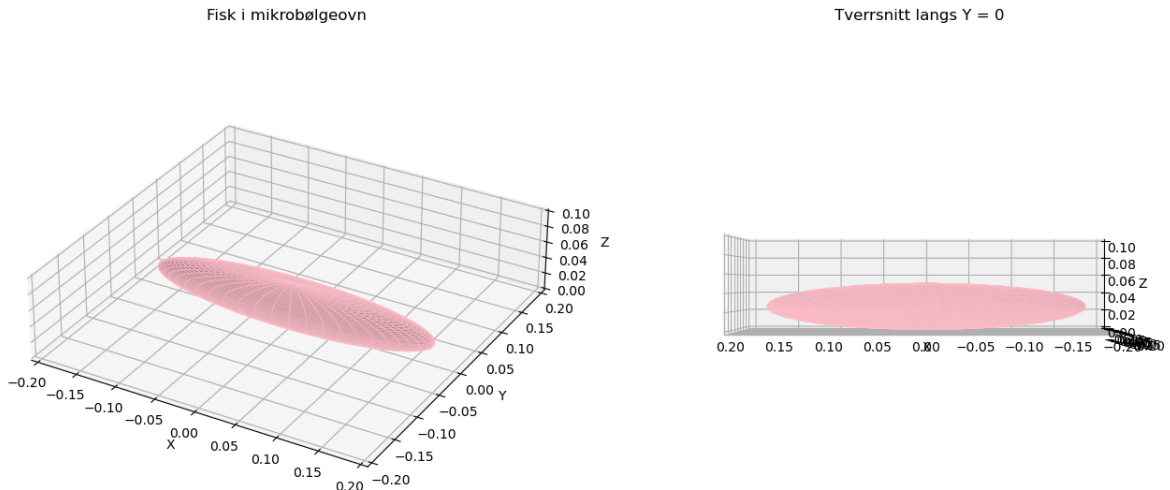
```

ax2.set_ylim([-0.2, 0.2])
ax2.set_zlim([0, 0.1])
ax2.set_box_aspect([4, 4, 1])
ax2.view_init(elev=0, azim=90)
ax2.set_xlabel('X')
ax2.set_zlabel('Z')
ax2.set_title('Tverrsnitt langs Y = 0')

plt.suptitle('Ellipsoid in Two Views')
plt.show()

```

Ellipsoid in Two Views



```

In [27]: # nye konstanter
mu_r = 1.0 # Fisk er ikke magnetisk, derav 1

# Refraktiv indeks til bruk for Snells Lov (avbøyningen til mikrobølgene i det de p
n_air = 1.0
n_fish = np.sqrt(epsilon_r * mu_r)

# Bølgetall
k_air = omega / c
k_fish = n_fish * omega / c

```

```

In [28]: t0 = 0 # fase
t1 = 0.5 * T # halv periode tid (motfase)

# Lager koordinatsystem
num_points = 200
x = np.linspace(-0.20, 0.20, num_points)
z = np.linspace(0, 0.10, num_points)
X, Z = np.meshgrid(x, z)
Y = 0 # utsnitt ved y = 0

R_ellipsoid = (X / a_ellipsoid)**2 + (Y / b_ellipsoid)**2 + ((Z - c_ellipsoid) / c_ellipsoid)**2
inside_fish = (R_ellipsoid <= 1) # maske for innsiden av ellipsoiden

# Beregn avstanden fra overflaten langs Z-aksen
distance_inside = np.zeros_like(Z)
Z_surface = c_ellipsoid + c_ellipsoid * np.sqrt(1 - (X[inside_fish] / a_ellipsoid)**2)
distance_inside[inside_fish] = Z_surface - Z[inside_fish]
distance_inside = np.maximum(distance_inside, 0)

```

```

# Lager tom elektrisk felt meshgrid
E_z = np.zeros_like(Z)
E_x = np.zeros_like(X)

# Beregn komponentene til normalvektoren ved overflaten
n_x = np.zeros_like(X)
n_z = np.zeros_like(Z)
n_x[inside_fish] = X[inside_fish] / a_ellipsoid**2
n_z[inside_fish] = (Z_surface - c_ellipsoid) / c_ellipsoid**2

# Regn ut absoluttverdien
magnitude_n = np.sqrt(n_x**2 + n_z**2)

magnitude_0_mask = (magnitude_n == 0)
magnitude_n[magnitude_0_mask] = 1 # sett magnituden til 1 der den er 0 midlertidig

# Normalize n_x and n_z
n_x_normalized = n_x / magnitude_n
n_z_normalized = n_z / magnitude_n

# Sett tilbake til 0
n_x[magnitude_0_mask] = 0
n_z[magnitude_0_mask] = 0

# Bruker Snells Lov
# Beregn innfallsvinkelen
theta_i = np.arctan2(n_x[inside_fish], n_z[inside_fish])

# Beregn sinus til transmisjonsvinkelen
sin_theta_t = (n_air / n_fish) * np.sin(theta_i)

# Initialiser theta_t med NaN
theta_t = np.full_like(theta_i, np.nan)

# Bare sin(theta) <= 1 er gyldig (selvsagt)
valid = (np.abs(sin_theta_t) <= 1) # maske

# Beregn utfallsvinkel der det er gyldig
theta_t[valid] = np.arcsin(sin_theta_t[valid])

for t in [t0, t1]:
    # Utenfor fisken (i Lufta)
    E_z_outside = E0 * np.cos(k_air * Z - omega * t)
    E_x_outside = np.zeros_like(X)

    # Amplitude inne i fisken
    E_amplitude_inside = E0 * np.exp(-alpha * distance_inside[inside_fish])

    # Initialiser E_z_inside og E_x_inside
    E_z_inside = np.zeros_like(distance_inside[inside_fish])
    E_x_inside = np.zeros_like(distance_inside[inside_fish])

    # Beregn fase inne i fisken
    r_in = (X[inside_fish] * np.sin(theta_t) + Z[inside_fish] * np.cos(theta_t)) #
    E_phase_inside = k_fish * r_in - omega * t # fasen til bølgene inne i fisken

    # Tildel elektriske feltkomponenter der det er gyldig
    E_z_inside[valid] = E_amplitude_inside[valid] * np.cos(theta_t[valid]) * np.cos(E_phase_inside[valid])
    E_x_inside[valid] = E_amplitude_inside[valid] * np.sin(theta_t[valid]) * np.cos(E_phase_inside[valid])

    E_z[~inside_fish] = E_z_outside[~inside_fish] # Set E_z på utsida lik verdien s
    E_x[~inside_fish] = E_x_outside[~inside_fish] # Set E_x på utsida lik verdien s

```



```

E_z[inside_fish] = E_z_inside
E_x[inside_fish] = E_x_inside

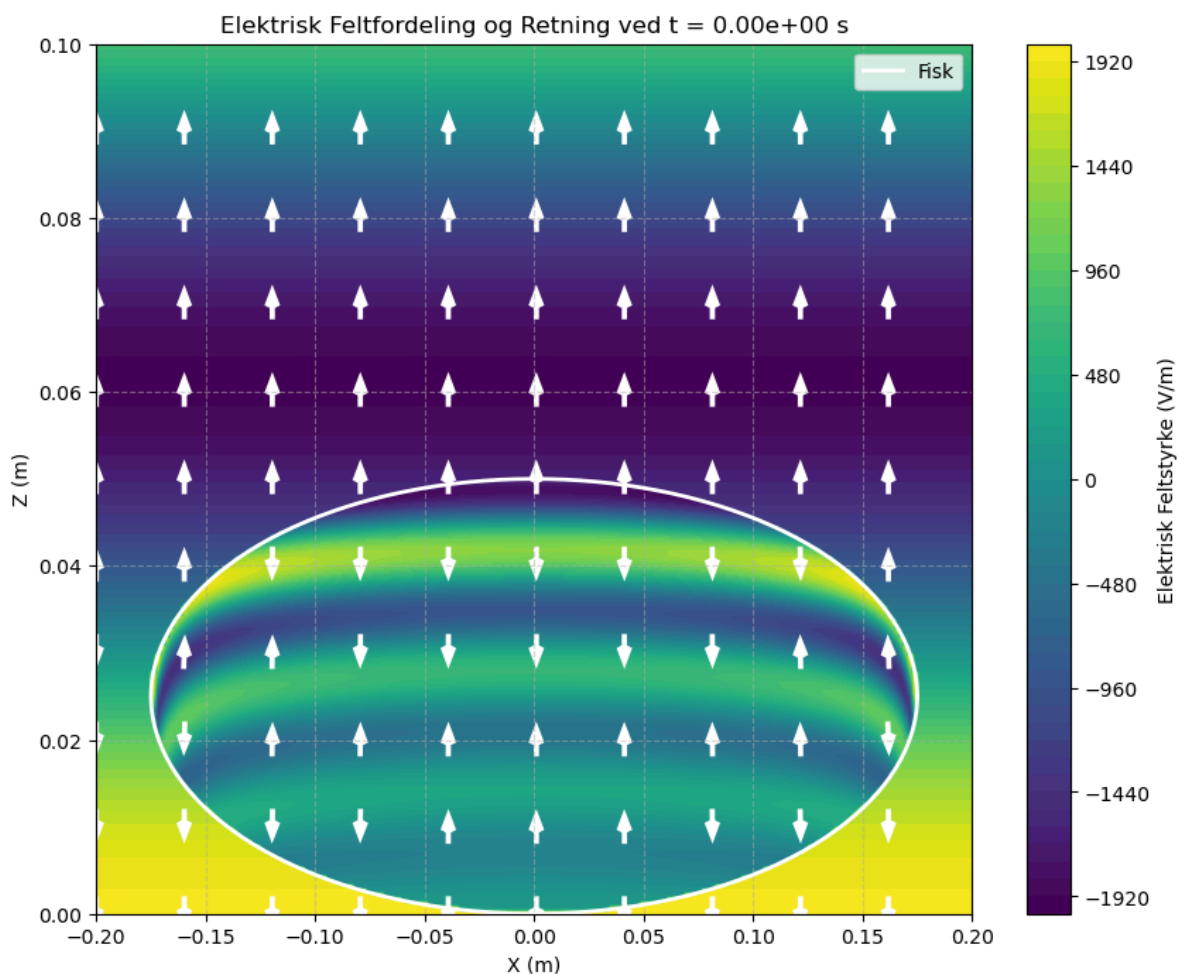
# Beregn størrelsen og normaliser E-feltet
magnitude = np.sqrt(E_x**2 + E_z**2)
Ex_norm = E_x / magnitude
Ez_norm = -E_z / magnitude # Juster retning for plotting

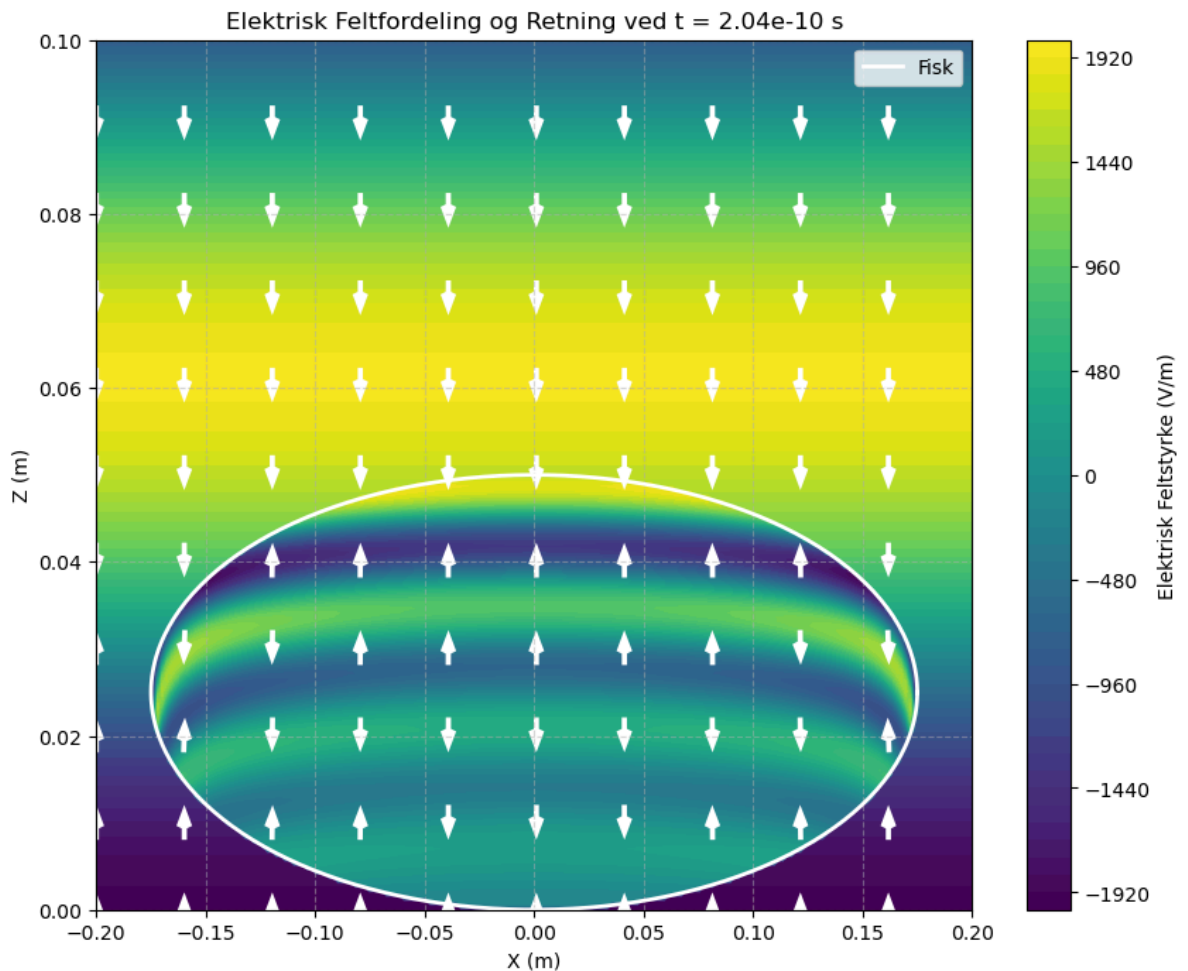
# Plotting av elektrisk feltstyrke ved tid t
plt.figure(figsize=(10, 8))
contour = plt.contourf(X, Z, E_z, levels=50, cmap="viridis")
plt.colorbar(contour, label="Elektrisk Feltstyrke (V/m)")
plt.xlabel("X (m)")
plt.ylabel("Z (m)")
plt.title(f"Elektrisk Feltfordeling og Retning ved t = {t:.2e} s")

# Plot ellipsoide-grensen
theta_boundary = np.linspace(0, 2 * np.pi, 300)
x_ellipsoid = a_ellipsoid * np.cos(theta_boundary)
z_ellipsoid = c_ellipsoid + c_ellipsoid * np.sin(theta_boundary)
plt.plot(x_ellipsoid, z_ellipsoid, color='white', linewidth=2, label="Fisk")

# Plot retningen til det elektriske feltet ved hjelp av quiver
n_quiver = 20 # plot bare hver 20-pil
plt.quiver(X[::n_quiver, ::n_quiver], Z[::n_quiver, ::n_quiver],
           Ex_norm[::n_quiver, ::n_quiver], Ez_norm[::n_quiver, ::n_quiver],
           color='white', pivot='mid', scale=25, headwidth=3, headlength=4)
plt.legend()
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)
plt.show()

```





Vi ser at mikrobølgene blir kortere inni fisken, som gir mening ettersom lyshastigheten i vakuum er høyere enn inni en fisk. Vi ser også at bølgene kurver litt avhengig av innfallsvinkel, noe som er det vi forventer grunnet Snell's lov. Til slutt ser vi at bølgene har mistet endel energi mot bunnen av fisken, og denne energien er den vi ønsker å regne ut.

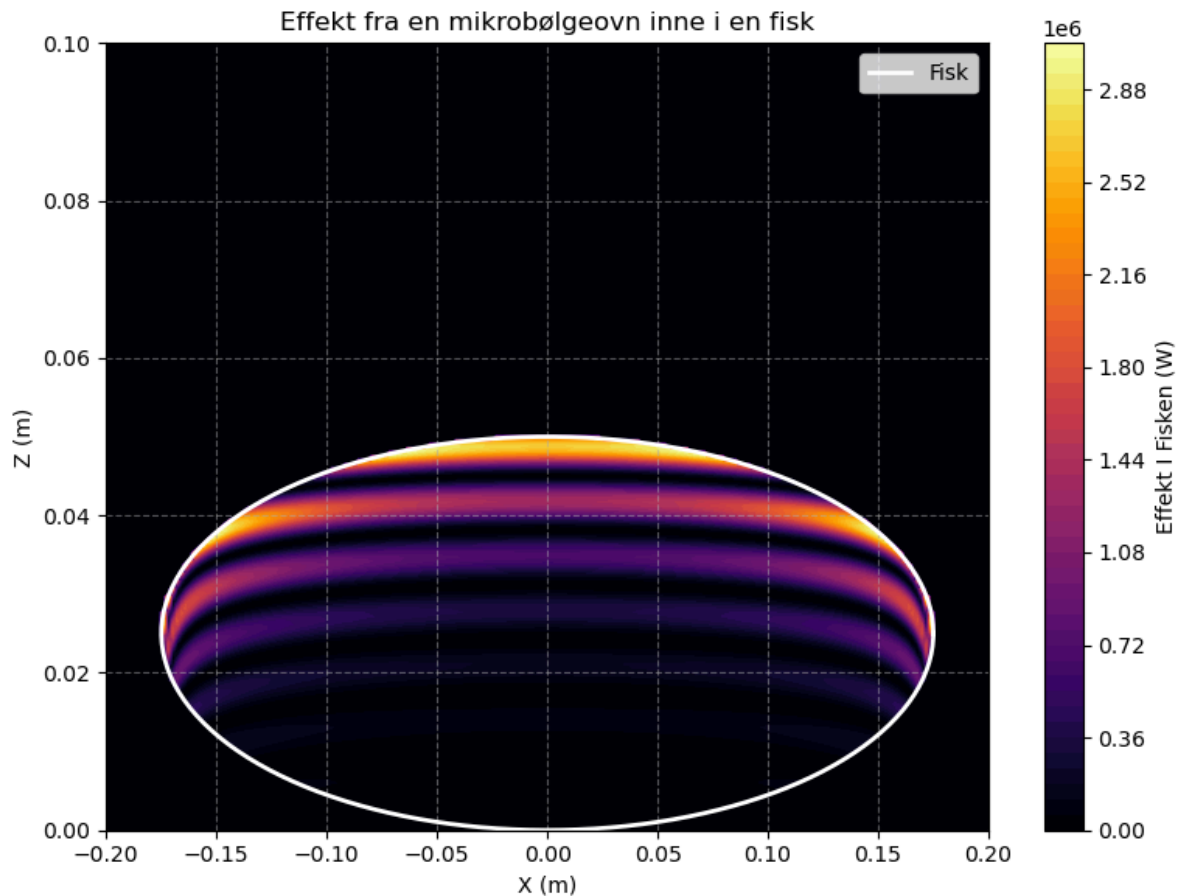
Vi ser også lite kurving av feltet slik vi forventet å finne fra Snells lov. Dette er muligens grunnet en feil i metoden. Vi hadde blant annet ventet å se sterkere felt mot midten på grunn av lyskrumning mot brennpunktene. Feltet ser derimot ut å følge samme kurving som formen på ellipsen.

```
In [33]: # setter opp en funksjon for effekten absorbert av fisken ( $V^2/m^2$ )
def P_total(Ex, Ez):
    E_total = np.sqrt(Ex**2 + Ez**2) # samler de dekomponerte komponentene
    P_r = 0.5 * omega * epsilon_0 * l_f * E_total**2 # formelen satt opp tidligere
    return P_r
```

```
In [ ]: power_outside = np.zeros_like(Z)
power_inside = np.zeros_like(X)
power_inside[inside_fish] = P_total(E_x_inside, E_z_inside) # absorbert effekt

plt.figure(figsize=(8, 6))
power_contour = plt.contourf(X, Z, power_inside, levels=50, cmap="inferno")
plt.colorbar(power_contour, label="Effekt I Fisken (W)")
plt.xlabel("X (m)")
plt.ylabel("Z (m)")
plt.title("Effekt fra en mikrobølgeovn inne i en fisk")
plt.plot(x_ellipsoid, z_ellipsoid, color='white', linewidth=2, label="Fisk")
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)
plt.legend()
```

```
plt.tight_layout()
plt.show()
```



Dette plottet er tilhørende det nederste plottet for E-feltet av fisken over. Vi ser at effekten er enormt høy mot toppen av fisken. Den går opp mot størrelse 2.88 millioner Watt. Dette virker helt hinsides høyt og tyder på at det er en feil en plass. Dessverre vet vi ikke helt hvorfor dette har skjedd ettersom energien vi bruker fra over virker fornuftig. Det kan være på grunn av at dette er en todimensjonal-modellering og at vi må ta hensyn til y-elementet. Likevel, virker dette rart ettersom dersom vi utvider i y-retning vil vi bare skalere samme ettersom det vil være mikrobølger der også og det burde bli tilsvarende. Selv om størrelsesordenen virker veldig feil så kan det se ut som at den avtar fornuftig relativt og i henhold til plottet over.

```
In [31]: P = np.arange(600, 1100, 100) # setter opp spekteret for effekten av mikrobølgeovne
E0_list = np.sqrt((2*P) / (epsilon_0 * c * A))

# 3D Meshgrid
x = np.linspace(-0.2, 0.2, num_points)
y = np.linspace(-0.07/2, 0.07/2, num_points)
z = np.linspace(0, 0.1, num_points)
X, Y, Z = np.meshgrid(x, y, z)

# Definer ellipsoiden
R_ellipsoid = (X / a_ellipsoid)**2 + (Y / b_ellipsoid)**2 + ((Z - c_ellipsoid) / c_ellipsoid)**2
inside_fish = R_ellipsoid <= 1

# Beregn avstand fra overflaten langs Z-aksen
distance_inside = np.zeros_like(X)
Z_surface = c_ellipsoid + c_ellipsoid * np.sqrt(1 - (X[inside_fish] / a_ellipsoid)**2 - (Y[inside_fish] / b_ellipsoid)**2)
distance_inside[inside_fish] = Z_surface - Z[inside_fish]
distance_inside = np.maximum(distance_inside, 0)
```

```

# Integrer over hele volumet
total_power_absorbed_values = []
for E0_value in E0_list:
    # Elektrisk felt inne i fisken for E0-verdi
    E_inside = E0_value * np.exp(-alpha * distance_inside)

    # Beregn effektabsorpsjon
    P_r = omega * epsilon_0 * l_f * (E_inside ** 2) * 0.5 # ganger med en halv for
    power_density = P_r * inside_fish

    # Volumelement dV
    dx = x[1] - x[0]
    dy = y[1] - y[0]
    dz = z[1] - z[0]
    dV = dx * dy * dz

    # Integrer over volumet
    total_power_absorbed = np.sum(power_density) * dV
    total_power_absorbed_values.append(total_power_absorbed)

#printer resultat
for p, absorbed_power in zip(P, total_power_absorbed_values):
    print(f"Total effekt absorbert når effekt er P = {p:.2f} W er: {absorbed_power:}

```

```

Total effekt absorbert når effekt er P = 600.00 W er: 414.83 W
Total effekt absorbert når effekt er P = 700.00 W er: 483.97 W
Total effekt absorbert når effekt er P = 800.00 W er: 553.11 W
Total effekt absorbert når effekt er P = 900.00 W er: 622.25 W
Total effekt absorbert når effekt er P = 1000.00 W er: 691.38 W

```

Oioi! Dette er resultater vi kan bruke, nå er vi gitt et estimat for effektivt vår generiske laks klarer å absorbere energien fra mikrobølgene.

```

In [32]: # Starttemperatur
T_initial = 20 # °C

# Tid i sekunder
t_values = np.linspace(0, 1000, 1000) # 0 til 1000 sekunder

# Temperatur ved død
target_temperature = 40 # °C

# naturlig tid for død
natural_lifespan = 660

# Lag figurer for temperatur over tid og tid til å nå måltemperatur
plt.figure(figsize=(14, 6))

# Fargekart for ulike p-verdier
colors = plt.cm.viridis(np.linspace(0, 1, len(P)))

# Liste for å lagre tiden det tar å nå måltemperatur for hver p-verdi
time_to_reach_target_list = []

# Plot temperatur over tid for hver p-verdi
plt.subplot(1, 2, 1)
for idx, (p, absorbed_power, color) in enumerate(zip(P, total_power_absorbed_values)):
    Delta_T = (absorbed_power / (m_fish * c_p)) * t_values
    T_values = T_initial + Delta_T

    # Finn tiden når T_values >= target_temperature
    indices = np.where(T_values >= target_temperature)[0]
    if len(indices) > 0:

```

```

        time_to_reach = t_values[indices[0]]
    else:
        time_to_reach = t_values[-1] # Hvis ikke nådd måltemperatur innen siste ti

    time_to_reach_target_list.append(time_to_reach)

    # Plot temperatur over tid
    plt.plot(t_values, T_values, label=f"P = {p} W", color=color)

    # Markér når måltemperatur er nådd
    plt.axhline(y=target_temperature, color='red', linestyle='--', alpha=0.5)
    plt.axvline(x=time_to_reach, color=color, linestyle=':', alpha=0.7)

plt.axvline(x=natural_lifespan, color='black', linestyle='--', alpha=0.8, label=f"Naturlig levetid (660s)")
plt.xlabel('Tid (s)')
plt.ylabel('Temperatur (°C)')
plt.title('Temperatur til fisken over tid for ulike P-verdier')
plt.grid(True, alpha=0.3)
plt.legend()

# Plot tid til å nå måltemperatur for hver p-verdi
plt.subplot(1, 2, 2)

# Sorter P og tid_to_reach_target_list for en jevn linje
sorted_indices = np.argsort(P)
P_sorted = P[sorted_indices]
time_sorted = np.array(time_to_reach_target_list)[sorted_indices]

# viser hvert punkt og lager linje gjennom
plt.scatter(P_sorted, time_sorted, color=colors[sorted_indices], s=100, label='Tid til måltemperatur')
plt.plot(P_sorted, time_sorted, color='black', linestyle='-', linewidth=2, label='Trendlinje')

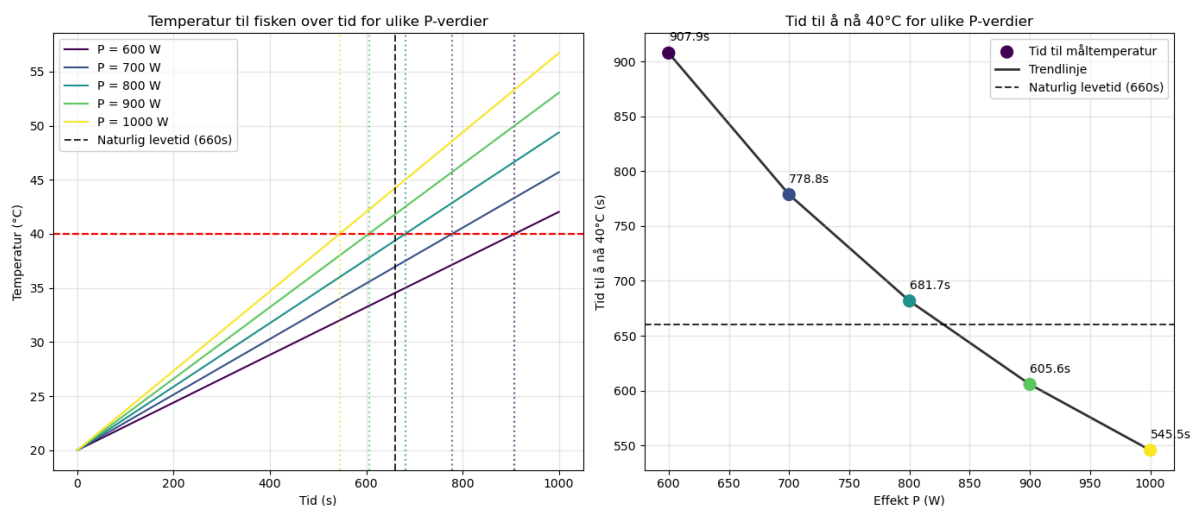
# gir tid til hver punkt
for p, t in zip(P_sorted, time_sorted):
    plt.annotate(f"{t:.1f}s", (p, t), textcoords="offset points", xytext=(0,10), ha='left')

plt.axhline(y=natural_lifespan, color='black', linestyle='--', alpha=0.8, label=f"Naturlig levetid (660s)")

plt.xlabel('Effekt P (W)')
plt.ylabel(f'Tid til å nå {target_temperature}°C (s)')
plt.title(f'Tid til å nå {target_temperature}°C for ulike P-verdier')
plt.grid(True, alpha=0.3)
plt.legend()

plt.tight_layout()
plt.show()

```



Her ser vi at temperaturen stiger lineært inne i fisken fra plottet til venstre. I det venstre plottet ser vi også at det er noen stipla linjer som viser når fisken er ansett som død for de respektive fargekodene. Vi ser at avstanden mellom de stipla linjene ikke ser ut til å øke med jevnt mellomrom. Dette vises også i det høyre plottet. Her kan vi se at levetid plottet mot effekt ser ut til å avta eksponensielt. Vi ser også at dersom fisken skulle dødd i mikrobølgeovnen etter 660 sekunder som er den ansette naturlige levetiden måtte effekten ha vært mellom 800 og 850 W.

Resultater og diskusjon

Vi ser at mye stemmer overens med intuisjonen vår i resultatene, men likevel er det noen ting som kunne vært forbedret. I dette essayet har vi nemlig gjort en del forenklinger som kan ha gjort resultatet vårt ganske feil. Den mest unøyaktige er muligens å anta at fisken er bare vann. En fisk er rundt 80% vann så det er ikke helt hinsides å anta, men det vil gi oss noenlunde skjeve resultater. Dette ble derimot gjort ettersom vi ikke fant noen empirisk data på permitiviteten, permabiliteten, refraktiv indeks osv. for en fisk. Likevel, gir det oss likevel en idé og modelleringen er åpen for endring med empirisk data.

Videre har vi antatt at nærmest alt er konstant gjennom modelleringen. De ovennevnte faktorene vil i realiteten endre seg en del med temperatur, men ettersom vi bare ser på en endring på 20°C fra romtemperatur så vil det ikke føre til enorm usikkerhet. Videre vil også fisken antakeligvis bli mindre over tid ettersom vann vil fordampe, men dette vil heller antakeligvis ikke påvirke resultatet. Det som derimot kan påvirke resultatet er at fisken vil endre egenskaper når den blir mindre vann og vår antakelse om 100% vann blir mindre og mindre nøyaktig.

Selve størrelsen på fisken vil påvirke resultatet stort ettersom det elektriske feltet inne i fisken avhenger av hvor langt det penetrerer. Dersom fisken hadde vært sylindrisk med en infinitesimal høyde hadde den blitt oppvarmet enormt mye raskere. Likevel, utifra plottet vårt, data vi har funnet og egne fisketurer, så mener vi på at fisken er nokså lik reell størrelse og utforming (så lenge den ikke skrumper betydelig).

Det vi også ser er at effekten inne i fisken i plottet virker helt usannsynlig. Tross i at det er når E-feltet har høyest styrke så er den i en størrelsesorden som virker helt hinsides. Vi kan ikke helt forstå hvorfor ettersom E -feltet stemmer nokså godt med det vi forventer. Likevel, ser fordelingen nøyaktig ut og det påvirker ikke vår endelige modellering ettersom vi bruker en annen formel. Likevel, burde vi se nærmere på dette om vi skal bruke resultatet til en faktisk avliving.

Konklusjon

I dette computational essayet har vi utforsket hvordan en mikrobølgeovn fungerer i elektromagnetisk kontekst. Hovedmålet var å undersøke i hvilken grad en mikrobølgeovn tar liv av fisken, og sammenlikne dette med død som resultat av å være på land for lenge. Til å begynne med modellerte vi hvordan det elektriske feltet avtar avhengig av dybden det har penetrert fisken, deretter modellerte vi varmefordeling i fisken. For å få til dette har vi brukt

empirisk data samlet fra forsøk omhandlene hvordan vann blir påvirket av mikrobølger. For at denne dataen skulle være nyttig for oss har vi antatt at fisken vil oppføre seg omtrent likt som vann når det blir utsatt for mikrobølger. Helt til slutt målte vi tiden det tok for fisken å dø av mikrobølgene, på fem forskjellige effekter av mikrobølgeovnen. Resultatene viste at om mikrobølgeovnen skrus på litt mer enn 800W (ca. 825W) kan en være temmelig usikker på om fisken døde som et offer av mikrobølger, eller om den har dødd av de brutale levetilstandene som er vår troposfære.

For å oppsummere, fisken dør.

Kildeliste

- Salmon Fishing Forum. (n.d.). Salmon survival from catch and release. Salmon Fishing Forum. <https://www.salmonfishingforum.com/threads/salmon-survival-from-catch-and-release.160743/>
- U.S. Food and Drug Administration. (n.d.). Microwave ovens: Radiation and safety. U.S. Food and Drug Administration. https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/resources-you-radiation-emitting-products/microwave-ovens#What_is_Microwave_Radiation_
- Store norske leksikon. (n.d.). Magnetron. <https://snl.no/magnetron>
- Store norske leksikon. (n.d.). Mikrobølgeovn. <https://snl.no/mikrob%C3%B8lgeovn>
- Tveten, L. G., & Tveten, E. (1982). A case of deep tissue injury caused by microwave exposure. American Journal of Forensic Medicine & Pathology, 3(1), 55–57. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7040308/>
- Wikipedia. (n.d.). Microwave burn. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Microwave_burn
- Star Seafood. (n.d.). Salmon. Star Seafood. <https://www.starseafood.no/salmon-2/>
- London South Bank University. (n.d.). Water structure and science: Microwave radiation effects on water. https://water.lsbu.ac.uk/water/microwave_water.html