

NORGES TEKNISK- NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR MEKANIKK, TERMO- OG FLUIDDYNAMIKK

Faglig kontakt under eksamen:

Førsteaman. Ole Melhus, tlf. 93662 eller 93562

EKSAMEN I FAG SIO1073 VARME- OG FORBRENNINGSTEKNIKK

Mandag 6. mai 2002

Tid: kl. 09.00 - 13.00

Oppgaveteksten finnes også på engelsk. Planlagt sensur i uke 22.

Hjelpemidler: D - Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i henhold til utarbeidet liste, tillatt.

Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler tillatt.

Vennligst ikke bruk rød blyant/penn, det er forbeholdt sensuren.

Les gjennom oppgavene først. Hvis mulig, la ingen oppgave være helt blank. Skriv kort og konsist, det lønner seg!

Oppgave 1

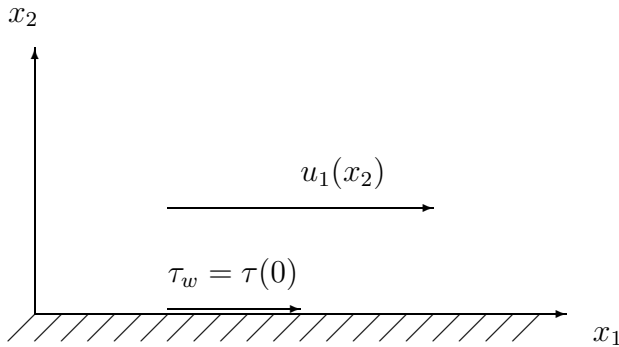
Ved beregning av fluiddynamiske/termiske problemer er Navier-Stokes ligninger (bevegelses- eller impulslikningene), kontinuitets- og energiligningen sentrale differensiallikninger i forbindelse med den matematiske beskrivelse av problemet.

- a. Still opp den *generelle*, partielle differensiallikningen for bevegelsesmengde, varme- og massetransport (den generelle transportlikningen for Φ) for et transient, 2-dimensjonalt problem hvor strømnings- og temperaturfeltet skal beregnes.
Diskretiser denne likningen (omform differensiallikningen til en differanselikning for Φ) vha. *sentraldifferensiering* og en *fullt implisitt* tidsintegrasjonsmetode. Svaret skal gis som senterpunktskoeffisient, nabokoeffisienter og kildeledd for et indre knutepunkt.
- b. Diskuter hvilke begrensninger som gjelder ved bruk av *sentraldifferensiering*, og de negative konsekvenser av *oppstrømsdifferensiering*.
Hvordan kan du kombinere disse to metodene til *en* bedre metode? Gi en kort forklaring.
- c. Vis i detalj hvordan Φ -profilen langs en linje i nettverket kan beregnes vha. TDMA (TriDiagonal Matrise Algoritme), når verdien av Φ i hver ende (grensebetingelsene) er kjent.
- d. *Falsk diffusjon* kan føre til urealistiske resultater. Vis konsekvensene av falsk diffusjon ved å betrakte
 - strømning parallelt med gridlinjene (nettverkslinjene)
 - strømning som danner en vinkel på 45° med gridlinjene

Oppgave 2

I de fleste numeriske beregninger av turbulent strømning langs faste flater blir det brukt vegglover. Vegglover baserer seg på kunnskap om hvordan grensesjikt utvikler seg nær veggen. Todimensjonal, midlet ligning for hastighetskomponenten langs veggen kan uttrykkes som:

$$\rho \bar{u}_1 \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_1} + \rho \bar{u}_2 \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} = -\frac{\partial \bar{P}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\rho \nu \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} - \overline{\rho u'_1 u'_2} \right) \quad (1)$$



- a. Eksperimentelle undersøkelser har vist at nær veggen (innenfor ca. 20 % av grensesjiktstykkelen) er skjærspenningen $\tau \approx \tau_w$, hvor:

$$\tau = \rho \nu \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} - \overline{\rho u'_1 u'_2}$$

$$\tau_w = \rho \nu \left(\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} \right)_{x_2=0} \equiv \rho u_\tau^2$$

Innfør dimensjonsløse grupper:

$$u_1^+ = \frac{\bar{u}_1}{u_\tau} \quad \text{og} \quad x_2^+ = \frac{x_2 u_\tau}{\nu}$$

og basert på antagelsene ovenfor, utled for viskøst undersjikt ($-\overline{u'_1 u'_2} \rightarrow 0$ og $\tau \approx \rho \nu \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2}$) funksjonssammenhengen:

$$u_1^+ = u_1^+(x_2^+)$$

- b. Når $\tau \approx \tau_w$ og $-\overline{\rho u'_1 u'_2} \neq 0$ ($\tau \approx -\overline{\rho u'_1 u'_2}$) gir dimensjonsanalyse at:

$$\frac{d\bar{u}_1}{dx_2} = \frac{u_\tau}{\kappa x_2} \quad (2)$$

hvor $\kappa = 0.4$

Bruk Prandtls blandingsveimodell:

$$\nu_t = \ell^2 \left| \frac{d\bar{u}_1}{dx_2} \right|$$

og finn uttrykk for ℓ i området hvor $\tau \approx \tau_w \approx -\overline{\rho u'_1 u'_2}$

c. Integrerer vi opp ligning (2), får vi:

$$u_1^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ex_2^+)$$

hvor E er en konstant.

I områder hvor dette uttrykket er gyldig vil også produksjon, P_k , og dissipasjon, ε , av turbulensenergi k , være i tilnærmet likevekt.

Hvordan kan vi uttrykke ε som funksjon av x_2 og u_τ når:

$$P_k = \nu_t \left(\frac{d\bar{u}_1}{dx_2} \right)^2$$

d. I $k - \varepsilon$ modellen modelleres ν_t som:

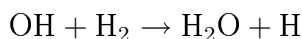
$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad , \quad C_\mu = 0.09$$

Finn sammenhengen mellom k og u_τ når produksjon og dissipasjon av turbulensenergi er i tilnærmet likevekt.

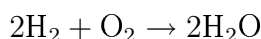
Oppgave 3

I laminære og turbulente flammer konverteres reaktanter til produkt gjennom kjemiske reaksjoner som i sum omgjør kjemisk bindingsenergi til termisk energi.

a. Reaksjonen



kaller vi en elementær reaksjon, mens reaksjonen



blir kalt en 'overall' reaksjon eller global reaksjon.

Hva er forskjellen på de to typene reaksjoner ?

b. Progresjonsloven ('rate law') for OH på basis av reaksjonen

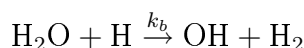


gir:

$$\frac{d[\text{OH}]}{dt} = -k_f [\text{OH}]^a [\text{H}_2]^b$$

Hva vil a og b være i dette tilfelle, og hvorfor ?

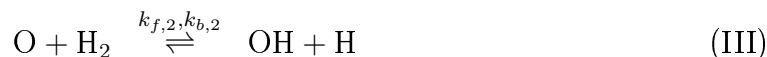
c. Ved høye temperaturer vil bakoverreaksjonen for reaksjon (I):



være signifikant.

Vis hvordan bakover hastighetskoeffisient, k_b , kan uttrykkes ved hjelp av forover hastighetskoeffisient ('rate coefficient'), k_f , og likevektskonstanten, K_C .

- d. For temperaturer over 1800 K er det en god tilnærming å anvende partiell likevekt for følgende reaksjoner:



hvor $k_{f,r}$ og $k_{b,r}$ er forover og bakover hastighetskoeffisient til reaksjon r. Vis hvordan H, O og OH kan uttrykkes som funksjoner av H_2 , O_2 og H_2O når vi bruker partiell likevekt for reaksjonene (II) til (IV).

Oppgave 4

For både flytende og faste brensler kan forbrenningstiden for en partikkel beregnes etter en d^2 - lov (d square law).

- Skisser diameterutviklingen ($d^2(t)$) i denne loven som funksjon av tid. Hvilke fysikalske størrelser inngår i loven, og hva er de viktigste parametrene?
- I faste brensler er det typisk tre ulike forbrenningsregimer. Skisser og forklar disse.
- Nevn og forklar prinsippene for ulike forstøvningsmetoder for flytende brensler.