

NOREGS TEKNISK-NATURVITSKAPLEGE UNIVERSITET  
INSTITUTT FOR MEKANIKK, TERMO- OG FLUIDDYNAMIKK

Kontakt under eksamen:  
Ivar Ertesvåg, tel. 93839

EKSAMEN I FAG 61161  
TURBULENT FORBRENNING, MASSE- OG VARMETRANSPORT  
Tysdag 8. mai 2000 Tid: 09.00 – 13.00

Opgåveteksten finst også på bokmål.

Tillatne hjelpemiddel: B1 – Typegodkjend kalkulator tillaten med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidd av NTH. Ingen trykte eller handskrivne hjelpemiddel.

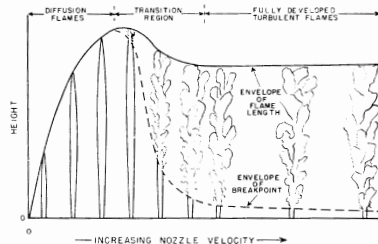
Bruk helst ikkje raud blyant/penn, det er halde av for sensuren.

Les gjennom oppgåvene først. Start med den oppgåva du meiner du har best innsikt i. Dersom det er råd, lat ikkje noko oppgåve vere heilt blank. Skriv klart, det løner seg!

Opgåve 1:

a)  
Figuren er henta frå ein artikkel av Hottel og Hawthorne, 1949, og viser ei skisse av eit forsøk med ei jetflamme.

– Forklar det skissa viser.



b)  
– Forklar kva middelverdi-modellering (middelverdi-simulering) er for noko.  
– Nemn andre metodar for å modellere/simulere turbulent strøyming og/eller turbulent forbrenning og forklar kva som skil desse metodane frå middelverdi-metodar.

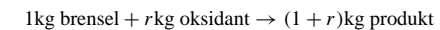
c)  
To modellar som er i bruk for turbulent forbrenning er Magnussens "Eddy-Dissipation Concept" (EDC) og Flamelet-modellar.

– Nemn viktige og karakteristiske sider ved EDC.

d)  
– Gjer greie for hovudpunkt i Flamelet-modellar.

Opgåve 2:

a)  
Vi kan sjå på ein forbrenningsreaksjon som ein enkel, eittstegs reaksjon mellom brensel og oksidant (luft), og vi skriv



– Kva er  $r$ ?

– Finn  $r$  for metanol,  $\text{CH}_3\text{O}$ . Molmasser:  $\text{CH}_3\text{O}$ : 31, luft (21%  $\text{O}_2$ , 79%  $\text{N}_2$ ): 29.

– Dersom eit uttrykk for reaksjonsraten for brensel  $R_b$  er kjent, korleis kan reaksjonsratane for luft og produkt uttrykkjast?

b)  
Vi har eit lukka kammer med 1 kg luft (tettleik  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ , viskositet  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Ein "propell" utfører eit arbeid med effekt 1 W på lufta.

Estimer desse storleikane:

- dissipasjon,  $\epsilon$
- turbulensenergi (turbulent kinetisk energi),  $k$
- blandingstid,  $\theta$
- Taylor-mikroskala,  $\lambda$
- turbulens-reynoldstal,  $Re_\lambda$ . (Tips for kontroll: Vurder om dette er eit rimeleg estimat for reynoldstallet).

c)  
– Skisser kurva for det tredimensjonale energispekteret,  $E(\kappa)$ , for stasjonær isotrop turbulens med høgt turbulens-reynoldstal. ( $\kappa$  er bølgetal.) Forklar kva kurva viser.

– Kva er samanhengen mellom turbulensenergi (turbulent kinetisk energi) og energispekteret  $E(\kappa)$  ?  
– Marker jamvektsområdet ("universal equilibrium range") og det trege området ("inertial subrange") i figuren.

– Vis korleis "Kolmogorovs  $\frac{5}{3}$ -lov" kjem fram.

d)  
– Kva går Kolmogorovs hypotese om lokal isotropi ut på ?  
– Kva er Kolmogorovs mikroskalaer, og korleis kjem dei fram ?

Oppgave 3:

a)

– Kva er ein konservert skalar?

–  $(Y_{br} - \frac{1}{r} Y_{oks})$  kan vere ein konservert skalar. – Vis dette, og set opp føresetnadene.

– Definer blandingsfraksjon.

b)

Likninga for variansen til blandingsfraksjonen kan skrivast ( $\rho = \text{konstant}$ )

$$\underbrace{\frac{\partial \bar{\xi}^{\prime 2}}{\partial t}}_{(1)} + \underbrace{\bar{u}_j \frac{\partial \bar{\xi}^{\prime 2}}{\partial x_j}}_{(2)} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mathcal{D} \frac{\partial \bar{\xi}^{\prime 2}}{\partial x_j} \right)}_{(3)} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left( -\bar{u}_j' \bar{\xi}^{\prime 2} \right)}_{(4)} - \underbrace{2\bar{u}_j' \bar{\xi}' \frac{\partial \bar{\xi}}{\partial x_j}}_{(5)} - \underbrace{2\mathcal{D} \frac{\partial \bar{\xi}' \partial \bar{\xi}'}{\partial x_j \partial x_j}}_{(6)} \quad (1)$$

– Korleis kan denne likninga utleiast? (Vis framgangsmåten, du treng ikkje vise detaljane for kvart ledd).

c)

– Kva representerer dei ulike ledda i likninga ovanfor?

d)

– Kva for nokre ledd i likninga må modellerast? – Vis korleis desse ledda kan modellerast.

Vi føreset at vi i tillegg til  $\bar{\xi}^{\prime 2}$ -likninga løyser ei likning for middel-blandingsfraksjon  $\bar{\xi}$ , men ikkje likningar for andre korrelasjonar med blandingsfraksjonen.NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET  
INSTITUTT FOR MEKANIKK, TERMO- OG FLUIDDYNAMIKK

Kontakt under eksamen:

Ivar Ertesvåg, tel. 93839

EKSAMEN I FAG 61161  
TURBULENT FORBRENNING, MASSE- OG VARMETRANSPORT  
Tirsdag 8. mai 2000 Tid: 09.00 – 13.00

Oppgaveteksten finnes også på nynorsk.

Tillatte hjelpemiddel: B1 – Typegodkjent kalkulator tillatt med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidet av NTH. Ingen trykte eller handskrevne hjelpemiddel.

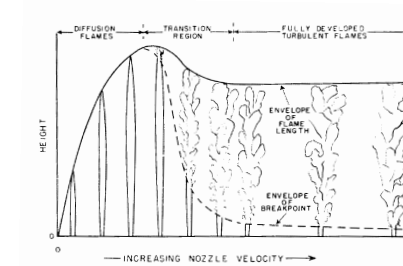
Bruk helst ikke rødt blyant/penn, det er holdt av for sensuren.

Les gjennom oppgavene først. Start med den oppgava du meiner du har best innsikt i. Dersom det er råd, lat ikke noen oppgave være heilt blank. Skriv klart, det lønner seg!Oppgave 1:

a)

Figuren er henta fra en artikkel av Hottel og Hawthorne, 1949, og viser ei skisse av et forsøk med ei jetflamme.

– Forklar det skissa viser.



b)

– Forklar hva middelverdi-modellering (middelverdi-simulering) er for noe.

– Nevn andre metoder for å modellere/simulere turbulent strømning og/eller turbulent forbrenning og forklar hva som skiller desse metodene fra middelverdi-metoder.

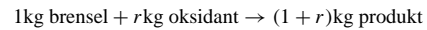
c)  
To modeller som er i bruk for turbulent forbrenning er Magnussens "Eddy-Dissipation Concept" (EDC) og Flamelet-modeller.

– Nevn viktige og karakteristiske sider ved EDC.

d)  
– Gjør greie for hovedpunkt i Flamelet-modeller.

### Oppgave 2:

a)  
Vi kan se på en forbrenningsreaksjon som en enkel, ettstegs reaksjon mellom brensel og oksidant (luft), og vi skriver



– Hva er  $r$ ?

– Finn  $r$  for metanol,  $\text{CH}_3\text{O}$ . Molmasser:  $\text{CH}_3\text{O}$ : 31, luft (21%  $\text{O}_2$ , 79%  $\text{N}_2$ ): 29.

– Dersom et uttrykk for reaksjonsraten for brensel  $R_{br}$  er kjent, hvordan kan reaksjonsratene for luft og produkt uttrykkes?

b)  
Vi har et lukka kammer med 1 kg luft (tetthet  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ , viskositet  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ). En "propell" utfører et arbeid med effekt 1 W på lufta.

Estimer disse størrelsene:

– dissipasjon,  $\varepsilon$   
– turbulensenergi (turbulent kinetisk energi),  $k$   
– blandingsstid,  $\theta$   
– Taylor-mikroskala,  $\lambda$   
– turbulens-reynoldstal,  $Re_\lambda$ . (Tips for kontroll: Vurder om dette er et rimeleg estimat for reynoldstallet).

c)  
– Skisser kurva for det tredimensjonale energispekteret,  $E(\kappa)$ , for stasjonær isotrop turbulens med høgt turbulens-reynoldstal. ( $\kappa$  er bølgetal.) Forklar hva kurva viser.  
– Hva er sammenhengen mellom turbulensenergi (turbulent kinetisk energi) og energispekteret  $E(\kappa)$ ?  
– Marker jamvektområdet ("universal equilibrium range") og det trege området ("inertial subrange") i figuren.  
– Vis Hvordan "Kolmogorovs  $\frac{5}{3}$ -lov" kommer fram.

d)  
– Hva går Kolmogorovs hypotese om lokal isotropi ut på?  
– Hva er Kolmogorovs mikroskalaer, og hvordan kommer de fram?

### Oppgave 3:

a)  
– Hva er en konserverte skalar?  
–  $(Y_{br} - \frac{1}{r} Y_{oks})$  kan være en konserverte skalar. – Vis dette, og sett opp forutsetningene.  
– Definer blandingsfraksjon.

b)  
Likninga for variansen til blandingsfraksjonen kan skrives ( $\rho = \text{konstant}$ )

$$\underbrace{\frac{\partial \overline{\xi'^2}}{\partial t}}_{(1)} + \underbrace{\bar{u}_j \frac{\partial \overline{\xi'^2}}{\partial x_j}}_{(2)} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mathcal{D} \frac{\partial \overline{\xi'^2}}{\partial x_j} \right)}_{(3)} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left( -\overline{u'_j \xi'^2} \right)}_{(4)} - \underbrace{2\overline{u'_j \xi'} \frac{\partial \bar{\xi}}{\partial x_j}}_{(5)} - \underbrace{2\mathcal{D} \frac{\partial \overline{\xi'} \partial \overline{\xi'}}{\partial x_j \partial x_j}}_{(6)} \quad (2)$$

– Hvordan kan denne likninga utledes? (Vis framgangsmåten, du trenger ikke vise detaljene for hvert ledd).

c)  
– Hva representerer de ulike ledda i likninga ovenfor?

d)  
– Hvilke ledd i likninga må modelleres? – Vis hvordan disse ledda kan modelleres.  
Vi forutsetter at vi i tillegg til  $\overline{\xi'^2}$ -likninga løser ei likning for middel-blandingsfraksjon  $\bar{\xi}$ , men ikke likninger for andre korrelasjoner med blandingsfraksjonen.