

NOREGS TEKNISK-NATURVITSKAPLEGE UNIVERSITET  
 INSTITUTT FOR ENERGI- OG PROSESSTEKNIKK

Kontakt under eksamen: Øyvind Skreiberg/Ivar Ertesvåg, tel. 93839

EKSAMEN I FAG TEP4170  
 VARME- OG FORBRENNINGSTEKNIKK  
 9. august 2005 Tid: 09.00-13.00

Planlagt sensur i uke 35

Tillatte hjelpemiddel: D – Typegodkjent kalkulator tillatt med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidet av NTNU. Ingen trykte eller håndskrivne hjelpemiddel.

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

Les gjennom oppgavene først. Start med den oppgava du mener du har best innsikt i. Dersom det er råd, lat ikke noen oppgave være helt blank. Skriv klart, det løner seg!

Oppgaver

1)

Beskriv de 3 viktigste dannelsesmekanismene for NO fra N<sub>2</sub> i luft, med spesiell fokus på kjemien og hvordan denne påvirkes av temperatur, trykk, oppholdstid og flammetype.

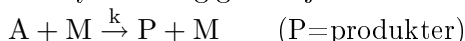
2)

NO kan også dannes fra bundet nitrogen i et fast brensel. Hvordan?

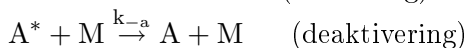
Stegvis lufttilførsel er en metode for å redusere NO utslippet fra fast brensel forbrenningsapplikasjoner. Forklar prinsippet.

3)

En trykkavhengig reaksjon:



er ikke en elementær reaksjon, men en serie av reaksjoner:



Forklar hva som skjer.

Finn et uttrykk for  $d[P]/dt$  ved meget lavt trykk og ved meget høyt trykk.

4)

Forbrenning av faste brensler foregår sekvensielt. Beskriv forbrenningsforløpet til en liten partikkel. Vil forbrenningsforløpet til en vedkubbe være det samme som for en liten partikkel?

5)

Ved pyrolyse av faste brensler i en Termo-Gravimetrisk Analysator (TGA) kan vi finne en reaksjonskonstant  $k$ , som funksjon av temperatur, og med en amplitudedefaktor  $A$  og en aktiveringsenergi  $E$ . Hvordan, og hvilke antagelser må gjøres? Hva slags kinetikk har vi egentlig funnet?

6)

Det brukes en rekke benevninger ved rapportering av utslipp. Hvor stort er et NO<sub>x</sub> utslipp (rapportert som NO<sub>2</sub>) i mg/kg brensel hvis det måles 25 ppm (volumbasis) NO i en tørr røykgass, ved 15 volumprosent O<sub>2</sub>, hvis brenselet er metan?

7)

I  $k$ - $\varepsilon$ -modellen (“standard”, konstant tetthet) kan den modellerte  $k$ -likninga skrives

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \rho P_k - \rho \varepsilon, \quad (1)$$

– Vis hvordan den “eksakte” (ikke modellerte)  $k$ -likninga blir utledet.

(Du skal vise framgangsmåten, og trenger ikke vise alle detaljer i alle ledd.)

8)

– Hvilke ledd i den “eksakte”  $k$ -likninga må modelleres, og hvordan blir det gjort?

– Hvordan blir  $\varepsilon$ -likninga modellert?

9)

I et område nær en plan vegg bruker vi tilnærminga

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

– Vis hvordan vi finner ei vegglov for dissipasjonen (dissipasjonsraten)  $\varepsilon$ . Forklar de forutsetningene du må gjere i tillegg til likning (2).

10)

Vis og forklar hvordan en kommer fram til vegglovene

$$T^+ = \frac{1}{\kappa_T} \ln x_2^+ + D_T = \frac{1}{\kappa_T} \ln (E_T x_2^+), \quad (3)$$

der  $T^+ = \rho C_p (T_w - \bar{T}) u_\tau / q_w$ .

Opplysning:  $\nu_t = \kappa u_\tau x_2$

11)

Flammefarta kan uttrykkes som  $v_L = \sqrt{D/\tau}$ , der  $\tau = k^{-1} = \left[ A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \right]^{-1}$ .

I forblanda flammer:

– Hvordan kan flammefarta tolkes?

– Hvordan kan vi uttrykke og tolke en tilhørende lengdeskala?

– Hva med uforblanda flammer?

12)

For å definere ulike regimer for turbulente flammer kan vi bruke to dimensjonsløse grupper. De må være satt sammen av to turbulensskalaer og én kjemisk skala, i tillegg til stoffegenskaper.

– Velg et sett av slike skalaer som kan brukes (det finst flere brukende alternativ) og forklar hvordan disse skalaene er definerte og hva de representerer.

Svaret skal være for både forblanda og uforblanda flammer.