

Kapittel 11

Magnussens forbrenningsmodell, «Eddy Dissipation Concept»

Dette kapitlet vil presentere Magnussens «Eddy Dissipation Concept» (EDC) noko meir detaljert og «studentvenleg» enn det vi finn i vitskaplege artiklar.

11.1 Utgangspunkt og oversyn

EDC er ein modell for kjemiske reaksjonar i turbulent strøyming. Modellen er utvikla og utprøvd av Magnussen og medarbeidarar ved NTH/Sintef gjennom ein 25-års periode. I dette avsnittet er det, som innleiing, lista opp nokre haldepunkt. Detaljane kjem etter kvart, og avsnittet får truleg nytt innhald når du les det på nytt etter resten av kapitlet.

I simuleringar for turbulente strøymingar løyser vi likningar for middelverdiar. Dette er storleikar som er knytte til dei store turbulensskalaene.

Når vi reknar på forbrenning, treng vi eit uttrykk for reaksjonsraten. Det er kjeldeleddet i likningane for middel-massefraksjon eller middelkonsentrasjon.

Forbrenninga skjer der reaktantane er blanda molekylært. Det er i hovudsak i dei minste kvervlane eller *finstrukturen*. Der skjer også det meste av dissipasjonen av turbulensenergi til varme.

For at reaktantane skal reagere, må temperaturen vere høg nok og opphaldstida må vere lang nok. Varmt reaksjonsprodukt må kome nær og «tenne på» reaksjonen. Reaktantar og produkt må vere blanda i rett høve lenge nok til at reaksjonen kan skje.

Finstrukturen er ikkje jamt fordelt i tid og rom. I eit punkt vil det vere periodar med mykje og periodar med lite finstruktur. Finstrukturen ovrar seg intermittent.

Magnussens forbrenningsmodell (EDC) har desse hovuddelane:

- Modell for energioverføringa frå store til mindre skalaer (kaskademodell).
- Ved energioverføringsmodellen kan karakteristiske storleikar for minste skalanivå (finstrukturen) uttrykkjast som funksjon av skalaer på storskala-nivået. Modellen gjev eit samband mellom små og store skalaer.
- Storskala-nivået kan knytast til middelstrøyminga ved ein turbulensmodell, til dømes ein k - ϵ -modell, – eller løysast direkte ved storevje-simulering.
- Modellen ser på finstrukturen som ein stasjonær homogen reaktor. Dei kjemiske reaksjonane skjer her. Massebalanse gjev reaksjonsrate for reaktoren og middel-reaksjonsrate. Dette er kjeldeleddet i likninga for middel-massefraksjon. Energibalanse for reaktoren gjev temperaturen i finstrukturen.
- Ved å modellere opphaldstida og samanlikne med reaksjonstida, kan ein modellere slokning¹.
- Utrekningar for detaljert kjemisk kinetikk kan koplast til modellen.

For raske reaksjonar er reaksjonsraten avgrensa av blandingsraten – som er styrt av turbulensen. For reaksjonar med ei viss reaksjonstid må opphaldstida i reaktoren vere større enn reaksjonstida. Elles får vi lokal slokning (utblåsing).

Magnussen har også fremja ein modell for danning og forbrenning av sot i turbulente flammer.

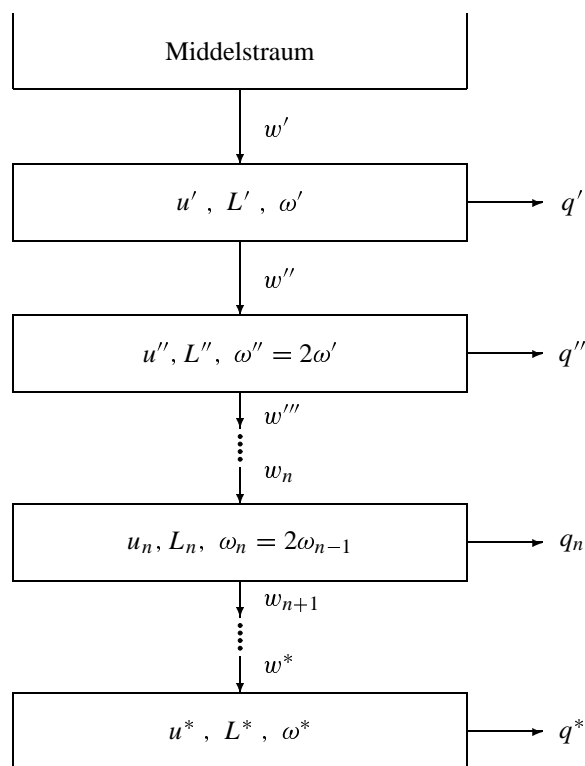
EDC er presentert i ulike variantar. Den siste finn vi i Magnussen (1989). Tidlegare versjonar finn vi i Magnussen (1981), Magnussen, Hjertager, Olsen og Bhaduri (1978) og Magnussen og Hjertager (1976). Sløkking er modellert i Byggstøyl og Magnussen (1983). Energikaskade-modellen er lagt fram i Magnussen (1975b) og gjennomgått i Ertesvåg (1991) og Ertesvåg og Magnussen (1997). Handsaming av detaljert kjemisk kinetikk er vist i Gran (1994), Gran og Magnussen (1996a,b).

11.2 Energioverføring – kaskademodell

Reaksjonar skjer i små kvervlar. Store kvervlar transporterer, og transporten vert etterlikna av turbulensmodellar. Dette avsnittet gjer greie for modellen som knyter småskala-fenomen til storskala-fenomen i turbulensen. Det er truleg ein føremon å lese førre avsnittet først. Også kapittel 8 kan gje betre forståing av det som stend her, og omvendt.

Midla over tid er lengde- og tidsskalaene i turbulensen kontinuerleg fordelte over eit stort spekter. Mekanisk energi vert overført frå middelstrøyminga til store kvervlar, og så vidare til mindre og mindre kvervlar. Dei største kvervlane er tregast og inneheld mest energi. Mindre kvervlar sviv raskare, men inneheld mindre energi fordi dei samla har mindre masse. Frekvensen er størst i dei minste kvervlane. Her er dei lokale viskøse spenningane størst. Viskøs friksjon overfører mekanisk energi til varme. Denne overføringa, dissipasjonen, skjer på alle skalanivå, men mest i dei minste kvervlane. Spekteret av større og mindre kvervlar vert ofte omtala som ein energi- eller turbulens-*kaskade*. («Cascade» er fransk for eit stegvis, gjerne kunstig, fossefall; frå italiensk «cascata»: *fall*, *fossefall*.)

¹Sjå avsnitt D.2.4 side 262 om å *slokne* og å *sløkkje*.



Figur 11.1: Energikaskade

Figur 11.1 illustrerer modellen for overføring av mekanisk energi frå middelstrøyminga, gjennom turbulensenergi til varme. w' er tilførsle av mekanisk energi frå middelstrøyminga til turbulensen, eller produksjon av turbulensenergi. Summen av $q' + q'' + \dots + q^*$ er dissipasjon av turbulensenergi.

Første nivået i turbulensstrukturen er dei store og energirike turbulenskvervlane. Det er karakterisert ved ein fartsskala u' , ein lengdeskala L' , og ein frekvens eller tøyingsfart $\omega' = u'/L'$. L' er utvekslingslengd, dvs. ein diffusjons- eller integralskala. Dette nivået representerer heile spekteret ved at det har i seg verknadene av mindre skalaer. Når vi løyser midla turbulens-likningar, til dømes k - og ε -likningane, held vi oss på det første nivået.

Neste nivå representerer den delen av spekteret der karakteristisk frekvens er $\omega'' = 2\omega'$, fart u'' og lengd L'' . På same måte som det første, har dette nivået i seg verknadene av alle lågare nivå. Likeins er det n -te nivået karakterisert av $\omega_n = 2\omega_{n-1}$, u_n og L_n . På kvart nivå er $\omega_n = u_n/L_n$. I dei minste kvervlane er ω^* , u^* og L^* av same storleiksorden som Kolmogorov-skalaene (side 130).

Overføringa frå første til neste nivå, w'' , er lik dissipasjonen på alle nivå nedanfor til saman, slik at dissipasjonen $\varepsilon = q' + w''$. Tilførsle av mekanisk energi frå middelstrøyminga til første nivå er produksjonen, $w' = P_k$, dersom vi reknar lokal jamvekt. Denne er funksjon av storleikar knytt