



CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Division of Fluid Dynamics  
Department of Mechanics and Maritime Sciences  
412 96 Göteborg

---

## TME055 Strömningsmekanik (4.5 hp)

### Syfte med kursen

Kursen syftar till att ge en introduktion till strömningsmekaniken, som är ett område inom den klassiska fysiken som berör kontinuerliga mediers jämvikts- och rörelsetillstånd. Kursinnehållet ger förutom en bred bas inom strömningslära även grunder för fortsatta studier av värme- och massöverföring.

### Mål med kursen

Målet med kursen är att visa hur man utgående från kontinuumsmekanikens grundekvationer kan förklara olika strömningsförlopp av teknisk betydelse. Efter fullgjord kurs ska studenten kunna:

- förstå och förklara grundläggande koncept som fluid, kontinuumhypotesen, Eulerskt och Lagrangeskt betraktelsesätt, viskositet och molekylära spänningar
- analysera problem som berör tryckfördelningen i stillastående fluider
- tillämpa kontrollvolymstekniken för att lösa ingenjörsmässigt relevanta problem som involverar strömmande fluider
- härleda och använda relevanta balansekvationer för en kontrollvolym från de grundläggande mekaniklagarna genom att använda Reynolds transportteorem
- härleda och analysera differentiella samband i strömningsmekaniken från motsvarande kontrollvolymsuttryck
- bestämma enklare strömningsmönster genom rimliga förenklingar av Navier-Stokes ekvationer
- använda sig av dimensionsanalys för att skriva om en ekvation på dimensionslös form och för att ta fram relevanta dimensionslösa grupper
- kunna avgöra vad som krävs för dynamisk likhet och kunna förklara vad dynamisk likhet innebär
- dimensionera industriella rörströmningssystem
- använda sig av strömfunktionen och hastighetspotentialen för att analytiskt studera tillämpliga strömningssituationer
- förklara när och var antaganden om friktionsfri strömning är acceptabla

- redogöra för vad som karakteriserar turbulens, vad energikaskaden är i turbulent strömning, hur ett turbulent energispektrum ser ut i gränsen av oändligt högt Reynoldstal
- härleda Reynoldsmedelvärderade Navier-Stokes ekvationer och diskutera hur de turbulenta spänningarna kan modelleras
- analysera strömning i turbulenta och laminära gränsskikt medelst såväl kontrollvolymstekniken som genom förenklingar av de differentiella uttrycken
- förstå och förklara begreppet separation

## Kursens innehåll

Kursen börjar med att diskutera fluidens natur och de matematiska verktyg som beskriver den. Vi går igenom kontinuitetsantagandet, en fundamental och nödvändig teori i en stor del av den klassiska fysiken. Från kontinuitetsantagandet härleds ett antal grundläggande koncept inom strömningslära. Från dessa koncept härleds de grundläggande ekvationer som beskriver strömningen. Dessa är bland annat Eulers, Navier-Stokes och Bernoullis ekvationer. Under vägen diskuteras många olika sammanhang och applikationer inom strömningslära.

## Kursinformation

Kursinformation och kursrelaterad kommunikation hanteras via Canvas ("TME055 Strömningsmekanik", <https://chalmers.instructure.com/courses/10726>).

## Förkunskaper

Grundkurser om differentialekvationer, komplex analys och linjär algebra.

## Kursupplägg

Kursen består av 13 föreläsningar, 12 räkneövningar och 1 datorövning. På tre av räkneövningstillfällena arrangeras duggor, vilka kan ge bonuspoäng på tentan (se mer under Examination). Även datorövningen kan ge bonuspoäng. Efter kursen ges en skriftlig tentamen.

|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| <b>Examinator:</b> | Henrik Ström (HS)      |
| <b>Lärare:</b>     | Henrik Ström (HS)      |
| <b>Assistent:</b>  | Valentin Vikhorev (VV) |

## Kontaktuppgifter

|                   |                |                                                                        |
|-------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------|
| Henrik Ström      | Strömningslära | <a href="mailto:henrik.strom@chalmers.se">henrik.strom@chalmers.se</a> |
| Valentin Vikhorev | Strömningslära | <a href="mailto:valvik@chalmers.se">valvik@chalmers.se</a>             |

## Litteratur

Huvudsaklig kurslitteratur är *Fluid Mechanics – 8th Edition in SI Units* av Frank M. White. Dessutom ingår Kapitel 1 i *An Introduction to Turbulence Models* av Lars Davidson (finns tillgänglig via kurshemsidan).

## **Examination**

Tid och plats för examinationen återfinns i studieportalen. Tentan innehåller teoriuppgifter och problemuppgifter uppdelat på fem områden och är på totalt 50 poäng. För godkänt krävs 20 poäng, för betyg 4 krävs 30 poäng och för betyg 5 krävs 40 poäng. Det krävs även att minst en poäng erhålles per område. Under kursen ges också 3 duggor och 1 datorövning som kan ge maximalt 10 bonuspoäng till tentan (duggorna ger maximalt 2 poäng vardera och datorövningen ger maximalt 4 poäng). Bonuspoängen är giltiga vid det ordinarie tentamenstillfället samt vid de två närmast efterföljande omtentamenstillfällena samma år.

## **Hjälpmedel vid tentamen**

Normalt tillåtna hjälpmedel är: penna, radergummi, linjal och ordbok (ej elektroniska ordböcker), samt miniräknare med tömt minne och matematisk handböcker (t ex BETA). Räknare som används som hjälpmedel vid tentamen får inte ha trådlös anslutningsmöjlighet till internet. I formelsamlingar får endast indexeringsgöror göras. Om det förekommer tryckfel i de tillåtna i hjälpmedlen får handskrivna rättelser finnas. Mobiltelefoner och elektronisk utrustning, som inte är godkända hjälpmedel, skall vara avstängda och får inte medföras till skrivplatsen. Om tentamen genomförs som Zoom-övervakad tentamen under den pågående pandemin är samtliga hjälpmedel tillåtna. Kommunikation med andra är dock aldrig tillåtet.

## **Förändringar sedan förra gången kursen gavs**

Datorövningen har uppdaterats. Den inbördes ordningen på föreläsningar och räkneövningar har justerats något. Föreläsningshandouts har reviderats.

## Schema

### **Läsvecka 1**

|               |                                                                   |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|
| Föreläsning 1 | <i>Introduktion och grundläggande begrepp</i><br>White: Kapitel 1 |
| Föreläsning 2 | <i>Tryckfördelning i en stationär fluid</i><br>White: Kapitel 2   |
| Räkneövning 1 |                                                                   |

### **Läsvecka 2**

|               |                                                                   |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|
| Föreläsning 3 | <i>Kontrollvolymstekniken – del 1</i><br>White: Kapitel 3.1 - 3.5 |
| Räkneövning 2 |                                                                   |
| Föreläsning 4 | <i>Kontrollvolymstekniken – del 2</i><br>White: Kapitel 3.6 - 3.7 |
| Räkneövning 3 | DUGGA 1                                                           |

### **Läsvecka 3**

|               |                                                                   |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|
| Föreläsning 5 | <i>Differentiella uttryck - del 1</i><br>White: Kapitel 4.1 - 4.3 |
| Räkneövning 4 |                                                                   |
| Föreläsning 6 | <i>Differentiella uttryck - del 2</i><br>White: Kapitel 4.4 - 4.6 |
| Räkneövning 5 |                                                                   |

### **Läsvecka 4**

|               |                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------|
| Föreläsning 7 | <i>Strömningsmönster</i><br>White: Kapitel 4.10 |
| Räkneövning 6 |                                                 |
| Räkneövning 7 | DUGGA 2                                         |

### **Läsvecka 5**

|               |                                             |
|---------------|---------------------------------------------|
| Föreläsning 8 | <i>Dimensionsanalys</i><br>White: Kapitel 5 |
| Räkneövning 8 |                                             |

Föreläsning 9                      *Viskös rörströmning*

White: Kapitel 6

Räkneövning 9

### **Läsvecka 6**

Föreläsning 10                      *Turbulens*

White: Kapitel 6.5, Davidson: Kapitel 1

Datorövning (MT14 och MT0)

Föreläsning 11                      *Potentialströmning*

White: Kapitel 4.7 - 4.9 + Kapitel 8

Räkneövning 10

### **Läsvecka 7**

Föreläsning 12                      *Gränsskiktsteori*

White: Kapitel 7

Räkneövning 11                      DUGGA 3

Föreläsning 13/Räkneövning 12                      *Repetition*

### **Tentavecka**

TENTAMEN

## Rekommenderade övningsuppgifter

Kapitel 1-8 i Whites bok ingår i kursen. I slutet av varje kapitel finns så kallade "Comprehensive Problems" som är något mer varierade och sammansatta. För att erbjuda vägledning till vad som är "typiska" färdigheter för varje delområde i kursen följer därför nedan främst en lista över rekommenderade övningsuppgifter bland de "vanliga" problemen. Värt att notera är också att kursupplägget innebär att alla områden inte går igenom i samma ordning som i Whites bok (se kapitelhänvisningar i schemat!).

Observera: Uppgiftsnumreringen som används nedan gäller för sjunde upplagan. En komplett PDF med uppgiftstexter och lösningsförslag för denna upplaga finns på kurshemsidan i Canvas.

### *Kapitel 1*

1.1, 1.4, 1.18, 1.25, 1.38, 1.41, 1.44, 1.45, 1.47, 1.48, 1.54, 1.57, 1.82, C1.4

### *Kapitel 2*

2.10, 2.12, 2.14, 2.21, 2.35, 2.36, 2.47, 2.54, 2.57, 2.58, 2.78, 2.94, 2.103, 2.105, 2.117, 2.123, 2.148

### *Kapitel 3*

3.8, 3.10, 3.12, 3.15, 3.16, 3.19, 3.23, 3.31, 3.37, 3.39, 3.40, 3.41, 3.42, 3.4, 4, 3.48, 3.54, 3.60, 3.66, 3.67, 3.77, 3.82, 3.101, 3.104, 3.112, 3.114, 3.117, 3.121, 3.124, 3.129, 3.139, 3.153, 3.156, 3.164, 3.166, 3.167, 3.174, 3.178, 3.184

### *Kapitel 4*

4.1, 4.7, 4.9, 4.17, 4.18, 4.21, 4.24, 4.28, 4.34, 4.36, 4.37, 4.38, 4.40, 4.42, 4.43, 4.44, 4.50, 4.51, 4.57, 4.59, 4.65, 4.67, 4.70, 4.80, 4.83, 4.88, 4.89, 4.91, 4.92, 4.93, 4.95

### *Kapitel 5*

5.2, 5.4, 5.10, 5.11, 5.12, 5.14, 5.15, 5.17, 5.18, 5.24, 5.26, 5.33, 5.43, 5.46, 5.56, 5.67, 5.71, 5.82, 5.91

### *Kapitel 6*

6.2, 6.6, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.13, 6.14, 6.18, 6.21, 6.22, 6.27, 6.30, 6.32, 6.34, 6.35, 6.38, 6.39, 6.41, 6.49, 6.51, 6.54, 6.71, 6.77, 6.79, 6.91, 6.99, 6.105, 6.125, 6.136, 6.138, 6.147

### *Kapitel 7*

7.3, 7.4, 7.5, 7.7, 7.8, 7.12, 7.13, 7.15, 7.16, 7.20, 7.21, 7.26, 7.28, 7.34, 7.35, 7.36, 7.37, 7.38, 7.40, 7.45, 7.49, 7.59, 7.64, 7.66, 7.69, 7.72, 7.84

### *Kapitel 8*

8.1, 8.6, 8.7, 8.10, 8.11, 8.16, 8.21, 8.24, 8.25, 8.27, 8.32, 8.38, 8.41, 8.42, 8.46, 8.48, 8.49, 8.74, 8.76, 8.84, 8.90, 8.108, 8.112, C8.5