

Kurssin keskeinen sisältö

0. Johdatus virtausmekaniikkaan (1.1-1.8, 1.11, 23 s.)

- Mitä virtaus on, miksi se on kiinnostavaa ja mitkä ovat siihen keskeisesti liittyvät käsitteet?
- **Motivointi:** ”*Flows occur in all fields of our natural and technical environment and anyone perceiving their surroundings with open eyes and assessing their significance for themselves and their fellow beings can convince themselves of the farreaching effects of fluid flows. Without fluid flows life, as we know it, would not be possible on Earth, nor could technological processes run in the form known to us and lead to the multitude of products which determine the high standard of living that we nowadays take for granted. Without flows our natural and technical world would be different, and might not even exist at all. Flows are therefore vital.*” - Franz Durst (2008) *Fluid Mechanics – An Introduction to the Theory of Fluid Flows, Springer*
- Missä virtauksia kohdataan?
- Miksi virtauksen ymmärtäminen on tärkeää?
- Mitä virtausten tapauksissa tarkoittaa statiikka, dynamiikka ja mekaniikka? (1.3)
- Mitä yhtäläisyyksiä ja eroja näillä on kiinteän aineen käyttäytymiseen ja mekaniikkaan? (1.3)
- Miten virtausta kuvataan? (kontinuumiajattelu) (1.1)
- Mitkä ovat vallitsevat lainalaisuudet? (1.3)
- Mitkä ovat keskeiset virtaussuureet ja niiden dimensiot? (1.2)
- Mitkä ovat keskeiset fluidin ominaisuudet? (1.4-1.6)
- Mitä fluidin viskositeetti kuvaa? (1.6)
- Mitä tarkoitetaan kokoonpuristuvalla tai kokoonpuristumattomalla virtauksella? (1.7)
- Miten nämä ilmenevät käytännössä?

1. Levossa oleva fluidi ja paine (2.1-2.10, 2.13, 26 s.)

- **Miten paine tyypillisesti käyttäytyy levossa olevassa fluidissa ja miten tätä tietoa voidaan käyttää paineen mittaamiseen ja levossa olevan fluidin aiheuttamien kuormien laskemiseen?**
- **Motivointi:** levossa oleva fluidi on yksinkertaisin virtausmekaniikan ongelmista, joten se toimii erinomaisena lähtökohtana virtausmekaniikan opiskelulle, mutta samalla levossa olevan fluidin painejakauman ymmärtämisellä on keskeinen rooli useissa käytännön tilanteissa.
- Mitä paine tarkoittaa ja miten se riippuu suunnasta? (Pascalin laki) (2.1)
- Mikä on paineen vallitseva yhteys levossa olevassa fluidissa ja miten se voidaan johtaa? (2.2)
- Miten painejakauma levossa olevassa fluidissa voidaan ratkaista? (2.3)
- Mitä paineen mittaamiseen liittyviä erilaisia paineen määritelmiä pitää tuntea? (2.5)
- Miten levossa olevan fluidin paineesta opittua voidaan käyttää paineen mittaamiseen? (2.6)
- Miten saan manometrillä määritettyä paineita? (2.6)
- Miten levossa olevan fluidin aiheuttamia voimia ja momentteja voidaan laskea? (2.8-2.10)

2. Fluidin liike ja Bernoullin yhtälö (4.1-4.2, 3.1-3.3, 21 s.)

- **Miten fluidipartikkelin liikettä tyypillisesti kuvataan ja miten partikkelin liikkeestä saadaan**

johdettua yksinkertainen yhteys paineen ja virtausnopeuden välille?

- **Motivointi: ymmärrys siitä, miten fluidipartikkelien liike kuvataan ja mikä partikkelien liikkeeseen vaikuttaa, luo oikeastaan koko perustan virtausmekaniikalle**
- Mitä virtauksen nopeus itse asiassa tarkoittaa? (4.1)
- Miten tämä liittyy keskeisiin fluidin liikkeen kuvaustapoihin ja mikä on kuvaustapojen ero? (4.1)
- Mitä tarkoitetaan stationaarisella ja epästationaarisella virtauksella? (4.1)
- Miten virtausta tyypillisesti visualisoidaan? (4.1)
- Mikä on fluidipartikkelin liikettä kuvaava vallitseva yhteys? (3.1)
- Mistä fluidipartikkelin kiihtyvyyksiä aiheutuu ja miten se on kuvattavissa? (3.1)
- Miten partikkelikiikkyvyys määritetään virtauskentän perusteella? (4.2)
- Mistä osuuksista partikkelikiikkyvyys koostuu ja mitä eri osuudet kuvaavat? (4.2)
- Miten virtaustilanne vaikuttaa tähän? (4.2)
- Miten fluidipartikkelin liikeyhtälö kytkeytyy virtausta kuvaaviin keskeisiin yhtälöihin? (3.1)
- Millaiset yhteydet saadaan fluidipartikkelin liikeyhtälöistä kitkattoman virtauksen tapauksessa? (miksi kitkaton virtaus?) (3.1-3.3)

3. Bernoullin yhtälön käyttö (3.4-3.8, 21 s.)

- **Mitä Bernoullin yhtälö tarkoittaa ja miten sitä voidaan käyttää virtausongelmien ratkaisemiseen?**
- **Motivointi: virtausnopeuden tai paineen määrittäminen virtauksessa ja näiden välisen yhteyden ymmärtäminen ovat keskeisissä rooleissa virtaustekniikassa**
- Mitä Bernoullin yhtälö ja siinä esiintyvät termit merkitsevät? (3.4-3.5)
- Miten Bernoullin yhtälön antamaa yhteyttä voidaan käyttää nopeuden mittaamiseen paineesta? (3.5)
- Miten Bernoullin yhtälöä voidaan käyttää käytännön virtausongelmien ratkaisemiseen? (3.6)
- Miten paineen eri osuudet ilmenevät virtauksessa ja miten niitä voidaan visualisoida? (3.7)
- Mitä rajoitteita Bernoullin yhtälön käyttöön liittyy? (3.8)

4. Kontrollitilavuusajattelu ja massan säilyminen (4.3-4.4, 5.1, 13 s.)

- **Miten jonkin partikkelisysteemiin liittyvän suureen säilyminen voidaan sitoa saman suureen käyttäytymiseen jossain mielivaltaisessa alueessa ja miten massan säilyminen kontrollitilavuudessa esitetään?**
- **Motivointi: usein ollaan kiinnostuneita virtauksesta jossakin valitussa alueessa eikä yksittäisten partikkelien käyttäytymisestä – esimerkiksi massataseesta jossain tilavuudessa**
- Mitä eroa on kontrollitilavuudella ja partikkelisysteemillä? (4.3)
- Miksi tarvitsemme molempia? (4.3)
- Miten nämä kaksi lähestymistapaa kytkeytyvät toisiinsa? (4.4)
- Mitä Reynoldsin kuljetuslauseen eri termit tarkoittavat? (4.4)
- Miten näitä oppeja hyödyntäen voidaan muotoilla massan säilymistä kuvaava laki kontrollitilavuudelle? (5.1)

5. Liikemäärän ja kulmaliikemäärän säilyminen (5.2, 19 s.)

- **Miten liikemäärän tai kulmaliikemäärän säilyminen esitetään ja miten säilymismuotoisia yhtälöitä voidaan käyttää virtausongelmien ratkaisemiseen?**
- **Motivointi: virtauksen aiheuttamia kuormia voidaan tarkastella yksinkertaisesti keskimääräisten tasesuureiden avulla ilman, että tiedämme virtauksen yksityiskohtia**
- Miten liikemäärän säilyminen kuvataan mielivaltaiselle tilavuudelle? (5.2.1)
- Miten saatua yhteyttä voidaan käyttää virtauksen aiheuttamien voimien määrittämiseen? (5.2.2)
- Miten vastaava yhteys saadaan johdettua kulmaliikemäärälle? (5.2.3)
- Miten saatua yhteyttä voidaan käyttää virtauksen aiheuttamien momenttien määrittämiseen? (5.2.4)

6. Energiayhtälö, häviöt ja laajennettu Bernoulli (5.3, 13 s.)

- **Miten taseita tarkastellaan tilanteissa, joissa energian säilyminen on keskeisessä osassa?**
- **Motivointi: energiataseen tarkastelua tarvitaan tilanteissa, joissa esimerkiksi lämpötila muuttuu, virtauksessa tapahtuu häviöitä tai siihen tuodaan tai siitä viedään energiaa**
- Miten partikkelisysteemin energiansäilymlaki on lausuttavissa valitulle tarkastelualueelle? (5.3)
- Mitkä tekijät vaikuttavat systeemin energiaan ja miten nämä kuvataan? (5.3)
- Miten energiayhtälöä sovelletaan eri yhteyksissä? (5.3)
- Millainen yhteys on energiayhtälöllä ja Bernoullin yhtälöllä? (5.3)
- Miten energiahäviöt ja energian tuonti systeemiin voidaan huomioida Bernoullin yhtälössä? (5.3)

7. Differentiaalimuotoinen jatkuvuusyhtälö (6.1-6.2, 14 s.)

- **Miten lähestymistapaa pitää muuttaa, jos halutaan tarkastella virtausta lokaalisti globaalin tasetarkastelun sijaan ja miltä massan säilyminen näyttää näin muotoiltuna?**
- **Motivointi: tasetarkastelu valituille alueille ei ole riittävä, kun ollaan kiinnostuttu virtauksen yksityiskohdista**
- Mikä on kontrollitilavuusajattelun keskeinen rajoite lokaalien suureiden kannalta?
- Miten tarkastelua pitää muuttaa?
- Miten lokaali virtaus ja sen muutokset kytkeytyvät infinitesimaalisen fluidialkion liikkeeseen ja muodonmuutoksen ja miten tämä on hajotettavissa osiin? (6.1)
- Mitä yhtäläisyyksiä ja eroja tässä on suhteessa kiinteän aineen mekaniikkaan?
- Miten jatkuvuusyhtälö on johdettavissa massan säilymisyyhtälöstä infinitesimaaliselle fluidialkiolle? (6.2)
- Miten jatkuvuusyhtälö kytkeytyy fluidialkion deformaatioon? (6.2)
- Miten jatkuvuusyhtälöä voidaan hyödyntää virtausongelman yksinkertaistamiseksi tasovirtausten tapauksessa? (6.2)

8. Differentiaalimuotoinen liikemääräyhtälö (Navier-Stokes) (6.3, 6.8-6.9, 17 s.)

- **Miten liikemääräyhtälö johdetaan mielivaltaiselle avaruuden pisteelle ja mitä lisäinformaatiota tässä tarvitaan jännitysten käyttäytymisestä?**
- **Motivointi: Navier-Stokesin yhtälöt yhdistettynä jatkuvuusyhtälön kanssa muodostavat täysin**

yleisen mallin newtonilaisen fluidin virtaukselle

- Miten liikeyhtälö kirjoitetaan infinitesimaalisen pienelle fluidialkiolle? (6.3)
- Mitkä voimat fluidialkioon vaikuttavat? (6.3)
- Miten tähän liittyvät pintavoimat kuvataan? (6.3)
- Millainen liikemääräyhtälö näistä syntyy? (6.3)
- Miten kitkallisessa virtauksessa jännitykset riippuvat virtausnopeuksista? (6.8)
- Miten jännitysysteys liittyy fluidialkion deformaatioon? (6.8)
- Millaiseen liikemääräyhtälöön jännitysysteys johtaa? (6.8)
- Miksi liikemääräyhtälö on vaikea ratkaista? (6.9)
- Missä tilanteissa liikemääräyhtälö on ratkaistavissa analyttisesti? (6.9)

9. Kitkaton virtaus ja potentiaalteoria (6.4-6.5, 9 s.)

- **Miten ja millä edellytyksillä virtausongelmaa voidaan yksinkertaistaa?**
- **Motivointi: Navier-Stokes yhtälöiden ratkaiseminen on erittäin raskasta ja useissa käytännön tilanteissa riittävään tarkkuuteen päästään huomattavasti yksinkertaisemmalla virtausmallilla. Yksinkertaistettu malli paljastaa myös usein huomattavasti enemmän virtausongelman keskeisistä riippuvuuksista.**
- Millä oletuksilla ja millä perusteella yleistä virtausongelmaa voidaan yksinkertaistaa?
- Miten virtausongelma ja siihen liittyvät yhtälöt muuttuvat, jos virtaus oletetaan kitkattomaksi? (6.4)
- Miten virtausongelma on yksinkertaistettavissa, jos virtaus oletetaan pyörteettömäksi? (6.4)
- Mitä virtauksen pyörteettömyys tarkoittaa ja miten se liittyy virtauksen kitkattomuuteen? (6.4)
- Mikä on potentiaalteorian keskeisin etu virtausongelmien ratkaisemisessa? (6.5)
- Mitkä ovat jatkuvuus- ja liikemääräyhtälöiden roolit potentiaalteoriassa?
- Mitä yhtäläisyyksiä ja eroja on potentiaali- ja virtafunktiolla? (6.5)

10. Potentiaalteorian perusratkaisut ja superponointi (6.5.1-6.7, 19 s.)

- **Miten potentiaalteoriaa voidaan soveltaa virtausongelmien ratkaisemiseen?**
- **Motivointi: yhdistelemällä potentiaalteorian perusratkaisuja tai näiden jakaumia voidaan hyvin nopeasti kuvata riittävällä tarkkuudella useita käytännön virtausilanteita, millä on suuri merkitys esimerkiksi suunnittelussa ja optimoinnissa**
- Mitkä ovat keskeiset potentiaalteorian perusratkaisut ja mitkä ovat niiden ominaispiirteet? (6.5)
- Miten perusratkaisujen avulla kuvataan ja ratkaistaan yksinkertaisia virtausongelmia? (6.6)
- Miten toimitaan monimutkaisemmissa tapauksissa? (6.7)

11. Dimensioanalyysi (7.1-7.7, 16 s.)

- **Miten yksittäisen virtaustapauksen tuloksia voidaan yleistää tarkastelemalla ilmiöön liittyvien suureiden yksiköitä?**
- **Motivointi: dimensioanalyysin avulla pystymme paljastamaan virtausilanteeseen liittyviä keskeisiä riippuvuuksia**

- Mitä dimensioanalyysi tarkoittaa eli mikä on sen keskeinen idea ja etu? (7.1)
- Miten dimensioanalyysi voidaan systematisoida? (7.2-7.3)
- Miten voi tietää, mitkä muuttujat ovat oleellisia? (7.4)
- Mikä vaikutus toistuvien muuttujien valinnalla on? (7.4)
- Mitkä ovat luonnollisia dimensiottomia suureita virtausmekaniikassa ja miksi? (7.6)
- Miten dimensioanalyysiä auttaa koetulosten analyysiä? (7.7)

12. Mallikokeet (7.8-7.9, 14 s.)

- **Miten sama virtausongelma voidaan mallintaa eri asetelmalla ja miten tämä on perusteltavissa dimensioanalyysillä?**
- **Motivointi: useissa käytännön tilanteissa on tarpeellista tutkia suunnitellun laitteen, rakennelman, kulkuneuvon tai järjestelmän toimintaa käytännöllisemmässä mittakaavassa**
- Mitä tarkoitamme mallikokeilla sekä mallilaeilla? (7.8)
- Mikä on dimensioanalyysin rooli mallikokeissa? (7.8)
- Miten mallikokeita ja -lakeja sovelletaan käytännössä? (7.9)

13. Putkivirtaukset (8.1-8.3, 11 s.)

- **Millaisia putkivirtaukset ovat ja miten laminaari ja turbulenti putkivirtaus eroavat toisistaan?**
- **Motivointi: putkijärjestelmä on useimmissa tilanteissa yksinkertaisin ja tehokkain tapa siirtää nestettä tai kaasua hallitusti kahden paikan välillä**
- Miksi putkivirtaukset ovat keskeinen osa virtausmekaniikkaa?
- Mitä putkissa tapahtuu virtausmielessä? (8.1)
- Miten laminaarin putkivirtauksen painehäviö voidaan määrittää teoreettisesti? (8.2)
- Miksi tämä tulos ei ole yleispätevä? (8.3)
- Miten ja miksi tarkastelua pitää muuttaa, jos virtaus on turbulenttia? (8.3)

14. Putkivirtausten ratkaiseminen (8.4-8.5, 23 s.)

- **Miten erilaisia putkivirtausongelmia ratkaistaan?**
- **Motivointi: putkijärjestelmien mitoittaminen sekä painehäviöiden ja virtaamien määrittäminen on erittäin tyypillinen virtaustekninen ongelma**
- Miten putkiin ja putkijärjestelmiin liittyviä virtauksia käsitellään käytännössä? (8.4)
- Miten putkien ja putkijärjestelmiin liittyvien komponenttien häviöitä voidaan kuvata? (8.4)
- Miten putkien erilaiset poikkileikkaukset voidaan huomioida? (8.4)
- Miten erityyppisiä putkivirtausongelmia ratkaistaan? (8.5)

15. Rajakerros ja virtaus kappaleiden ympäri (9.1-9.2, 20 s.)

- **Miten virtaus käyttäytyy fluidiin upotetun kappaleen ympärillä ja erityisesti sen välittömässä läheisyydessä?**

- **Motivointi: virtausta erilaisten kappaleiden ympäri ei voida yleistää kuin karkeasti, mutta kaikille yhteistä on rajakerroksen muodostuminen kappaleen pinnalle**
- Mitä tarkoittaa ulkopuolinen virtaus?
- Miten ulkopuoliset virtaukset eroavat putkivirtauksista?
- Miten kappaleisiin vaikuttavat voimat jaetaan tyypillisesti komponentteihin? (9.1)
- Miten voima voidaan määrittää, jos meillä on kaikki tieto virtauskentästä? (9.1)
- Mikä on viskoosien ilmiöiden vaikutus ulkopuolisiin virtauksiin? (9.1)
- Miten viskoosien ilmiöiden suhteellista merkitystä voidaan arvioida? (9.1)
- Mitä rajakerroksessa tapahtuu ja miten se kehittyy? (9.2)
- Miten rajakerroksen paksuutta voidaan kuvata ja mikä on eri tapojen fysikaalinen merkitys? (9.2.1)
- Miten rajakerroksen nopeusjakauma tai sen kehittyminen voidaan ratkaista? (9.2.2-9.2.3)
- Milloin rajakerrosvirtaus on laminaaria ja milloin turbulenttia? (9.2.4-9.2.5)
- Miten ja miksi laminaari ja turbulenti rajakerrosvirtaus eroavat toisistaan nopeusjakauman, paksuuden kehittymisen ja leikkausjännitysten osalta? (9.2.5)
- Miten paine käyttäytyy rajakerroksessa? (9.2.6)
- Miten kappaletta ympäröivän painekentän muutokset vaikuttavat rajakerrokseen? (9.2.6)

16. Kappaleen vastus ja nostovoima (9.3-9.4, 22 s.)

- **Miten kappaletta ympäröivä virtaus ja siihen kohdistuvat voimat liittyvät toisiinsa ja miten näitä voimia voidaan käsitellä?**
- **Motivointi: virtauksen aiheuttaman voiman määrittäminen on erittäin tyypillinen virtaustekninen ongelma**
- Millaisiin komponentteihin vastus voidaan jakaa syntymekanismin perusteella? (9.3.1-9.3.2)
- Miten kappaleen vastus ja nostovoima tyypillisesti kuvataan?
- Miten kappaleen muoto vaikuttaa sitä ympäröivään virtaukseen ja vastukseen? (9.3.3)
- Miten Reynoldsin luku vaikuttaa kappaletta ympäröivään virtaukseen ja sen vastukseen? (9.3.3)
- Miten kappaleen pinnankarheus vaikuttaa vastukseen? (9.3.3)
- Miten useammasta komponentista koostuvan kappaleen vastusta voidaan arvioida? (9.3.3)
- Miten nostovoima syntyy? (9.4)
- Miten nostovoima riippuu nopeudesta ja kohtauskulmasta? (9.4.1)
- Miksi nostovoima romahtaa kohtauskulman kasvaessa riittävän suureksi? (9.4.1)
- Miten nostovoimaa tuottavan kappaleen tehokkuutta mitataan? (9.4.1)
- Miten nostovoiman tuotto voidaan selittää sirkulaation avulla? (9.4.2)

17. Pyörivät virtauskoneet (11.1-11.5, 19 s.)

- **Mikä on pyörivä virtauskone ja miten sen toimintaa ja suorituskykyä voidaan tarkastella opitun perusteella?**
- **Motivointi: pyörivät virtauskoneet kuten pumput ja turbiinit pitävät maailman pyörät pyörimässä**

- Minkälaisia erilaisia pyöriä virtauskoneita on? (11.1)
- Miten nopeus pyörivän virtauskoneen tulo- ja lähtöpinnoilla voidaan jakaa komponentteihin? (11.2)
- Miten nämä komponentit riippuvat toisistaan ja siivistön geometriasta? (11.2)
- Miten nämä komponentit eroavat pumpun ja turbiinin välillä? (11.2)
- Miten kulmaliikemäärän tasetta voidaan soveltaa pyörivien virtauskoneiden momentin ja tehon määrittämiseen? (11.3)
- Miten keskipakopumpun nostokorkeus voidaan määrittää? (11.4)
- Miten pumpun suorituskyky määritetään? (11.4)
- Miten kaiken opitun perusteella voidaan valita sopiva pumppu putkijärjestelmään? (11.4)
- Miten dimensioanalyysiä voidaan soveltaa pumppujen skaalaamiseen? (11.5)