



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Luodin massajakauman optimointi

*Janne Lahti*

*01.09.2017*

Ohjaaja: *DI Mikko Harju*

Valvoja: *Prof. Kai Virtanen*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

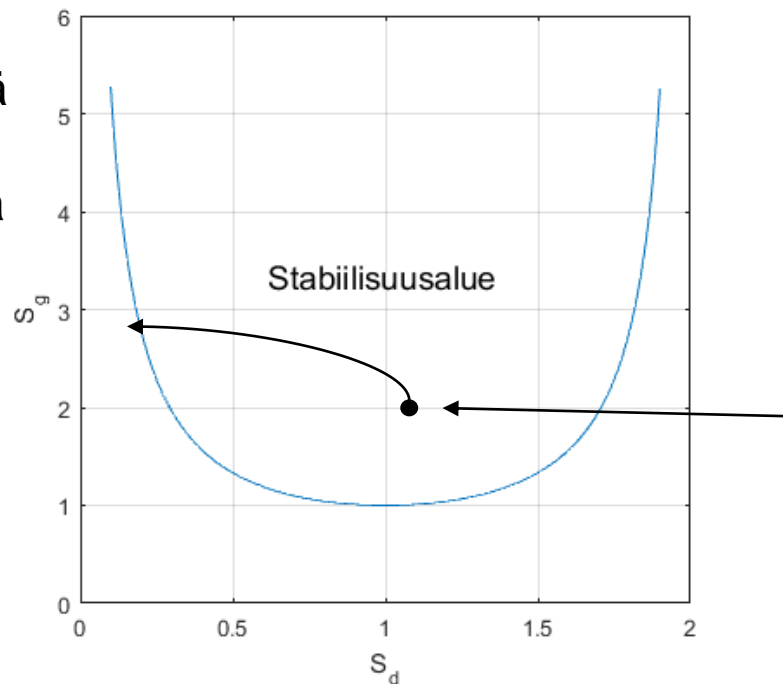
# Tausta 1/2

- Luodin pyöriminen lennon aikana pitää sen stabiilina
- Luodin stabiilius pidentää kantamaa ja vakauttaa lentorataa
- Nopeus ja pyörimisnopeus hidastuvat lennon aikana – vaikuttavat stabiilisuuteen ja siten myös lentorataan
- Stabiilisuusparametrit aerodynaamisista malleista
  
- Aerodynaamisen analyysin tehnyt aerodynamiikka-  
asiantuntija TkT Timo Saileranta

# Tausta 2/2

- Gyroskooppinen ja dynaaminen stabiilisuus ( $S_g$  ja  $S_d$ )

Lennon edetessä  
luoti poistuu  
stabiililta alueelta



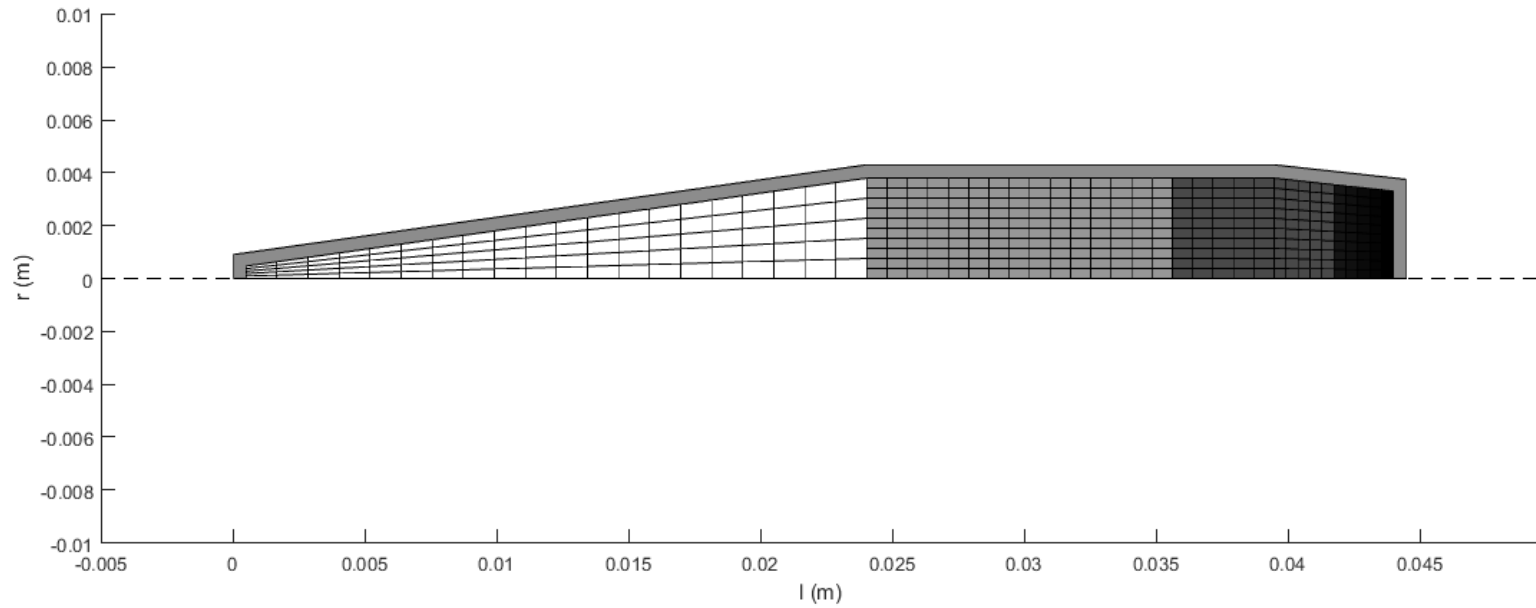
Annetut

- Lähtönopeus
- Pyörimisnopeus
- Koko ja muoto
- Massajakauma

# Luodin massajakauma

- Vaikuttaa luodin massakeskipisteeseen ja hitausmomentteihin – siten myös aerodynaamisiin parametreihin ja sitä kautta stabiilisuuteen ja lentorataan
- Symmetrinen pyörimisakselin suhteen
- Mallinnetaan jakamalla luoti satoihin pieniin ruutuihin, joilla jokaisella oma massatiheys

# Luotimalli



# Työn tavoite

- Määrittää optimaalinen massajakauma kahdelle luotityypille
  - Pitkän kantaman luodin pysyttävä mahdollisimman pitkään stabiilina
  - Harjoitusluodin muututtava halutulla/sopivalla hetkellä epästabiiliksi, jotta se ei lennä liian pitkälle
- Standardikokoiset ja –muotoiset luodit ja lähtönopeudet, ovat tässä työssä vakioita

# Optimointitehtävät 1/2

- Molemmille luotityypeille oma epälineaarinen optimointitehtävä
- Päätösmuuttujina molemmissa kunkin ruudun massatiheys
  - Tiheydet rajoitettu vastaamaan realistisia materiaaleja
- Pitkän kantaman luoti
  - Päätösmuuttujana lisäksi nopeus, jolla luoti poistuu stabiililta alueelta
  - Minimoitavana tämä nopeus
  - Rajoitteina luodin kokonaismassa sekä stabiilisuudet alku- ja kohdenopeuksilla

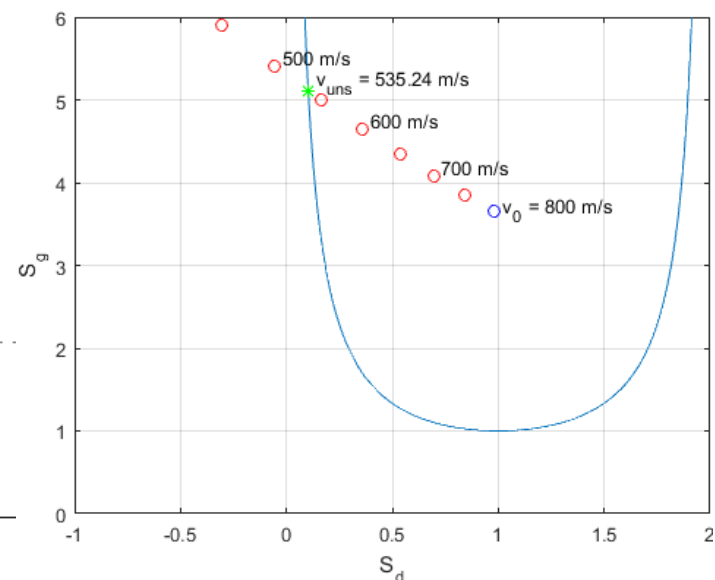
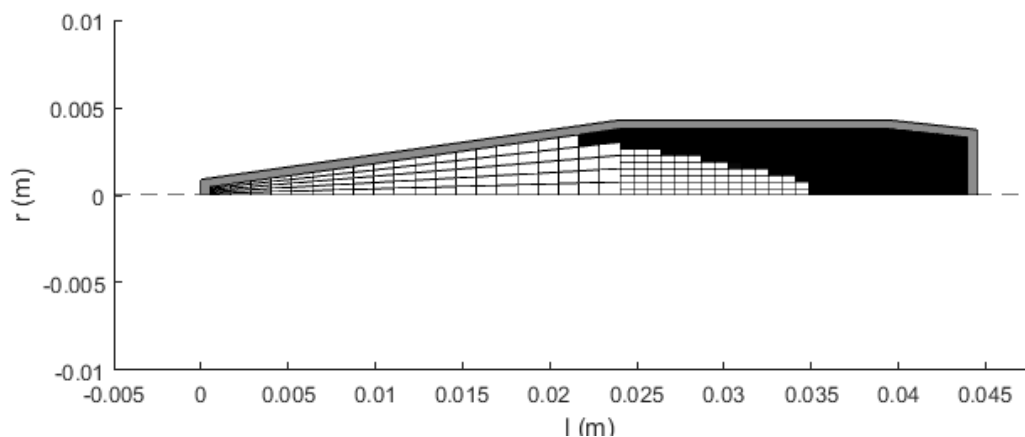
# Optimointitehtävät 2/2

- Harjoitusluoti
  - Maksimoidaan etäisyyttä stabiilista alueesta pienentyneellä nopeudella ( $v = 600$  m/s)
  - Rajoitteina luodin kokonaismassa sekä stabiilisuus alkuhetkellä
- Molempiin ongelmiin ratkaisuja myös erilaisilla alkuarvoilla (nopeudet) ja muokatuilla rajoitteilla (kokonaismassa, riittävä tuki kuorelle)
- Luoti mallinnetaan ja optimointitehtävät ratkaistaan MATLABin optimointifunktiolla



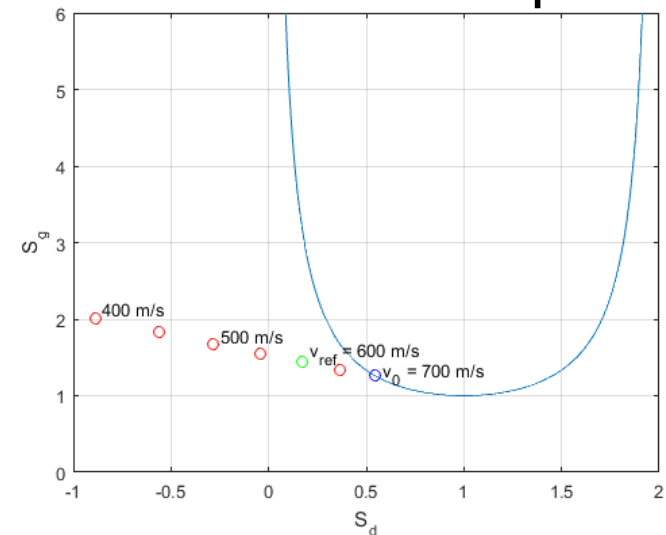
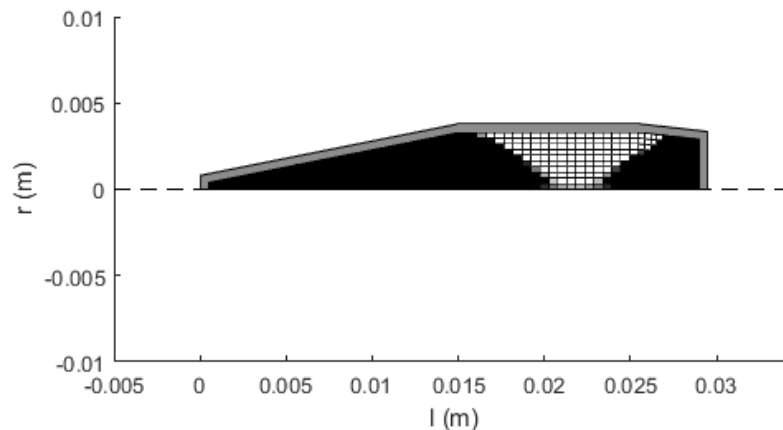
# Pitkän kantaman luodin optimaalinen massajakauma

- Koko ja alkunopeudet vastaavat tarkkuuskiväärin luotia
- Massa keskittynyt optimiratkaisuissa luodin perälle
- Jakauma pysyy samana myös eri nopeuksilla ja massoilla



# Harjoitusluodin optimaalinen massajakauma

- Koko ja lähtönopeudet samat kuin rynnäkkökiväärin luodissa
- Jakauman luonne muuttuu eri lähtönopeuksilla ja massoilla
- Kaikissa ratkaisuisa massaa luodin molemmissa päissä



# Optimaalisista massajakaumista 1/2

- Kaikissa ratkaisuissa ainoastaan suurinta mahdollista tiheyttä (volframi)
- Pitkän kantaman luodille saadaan selkeää optimijakauma
  - Massa luodin peräosassa
  - Ratkaisu käytännössä toteutettavissa
- Harjoitusluodille ei yhtä selkeää jakaumaa, mutta jakaumien vaikutusten erot lentorataan pieniä
  - Lähes kaikki ratkaisut vaativat rakenteellisia muutoksia luodin kuoren tukemiseksi

# Optimaalisista massajakaumista 2/2

- Jakaumat aerodynamiikan osalta järkeenkäypiä (Sailaranta)
  - Stabiliateettiin pyritään vaikuttamaan pääasiassa Magnus-ilmiön kautta
  - Magnus-voima vaikuttaa erityisesti luodin perän alueella (painopisteen paikkaa säätämällä voidaan vaikuttaa sen aikaansaamaan momenttiin)
  - Pitkän kantaman luodissa massa perällä, momenttivaikutus pienenee
  - Harjoitusluodissa päinvastoin

# Yhteenveto

- Optimaaliset massajakaumat poikkeavat merkittävästi tasaisesti täytetyistä ja umpinaisista nykyluodeista
- Aerodynaamiset parametrit ja mallit yksinkertaistettu optimoinnin mahdollistamiseksi
- Optimaalisen massajakauman sisältävien luotien lento-ominaisuuksia tarkasteltava yksityiskohtaisilla simulointimalleilla
- Jatkotutkimusten aiheena muodon (ja lähtönopeuksien) yhteisoptimointi?

# Lähteitä

- McCoy, R. *Modern Exterior Ballistics, the Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles*. Schiffer Publishing, 1999
- Saileranta, T. *Studies on Unmanned Atmospheric Flight*. Väitöskirja. Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu, Konetekniikan laitos. 2016
- Moore, F. G. *Approximate Methods for Weapon Aerodynamics*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000