

Aleksi Riihiaho

Otsikko

Diplomityö

|  |  |
| --- | --- |
| Tarkastaja: professori Reijo Kouhia Tarkastaja ja aihe hyväksytty  Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston kokouksessa x. xkuuta 2016 |  |
|  |  |

TIIVISTELMÄ

**ALEKSI RIIHIAHO**: Otsikko

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, XX sivua, YY liitesivua

Xkuu 2016

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Koneiden ja rakenteiden analysointi

Tarkastaja: professori Reijo Kouhia

Avainsanat: FEM

Tiivistelmä on suppea

ABSTRACT

**ALEKSI RIIHIAHO**: Heading

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, XX pages, YY Appendix pages

X 2016

Master’s Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Analysis of Machines and Structures

Examiner: Professor Reijo Kouhia

Keywords: FEM

The basics in English in Master’s theses.

ALKUSANAT

Tämä dokumenttipohja on laadittu TTY:n opinnäytetyöohjeen vuoden 2014 version mukaan edellistä pohjaa muokkaamalla. Työryhmä haluaa kiittää kaikkia ohjeen päivitykseen osallistuneita.

Alkusanoissa esitetään opinnäytetyön tekemiseen liittyvät yleiset tiedot. Tapana on myös esittää kiitokset työn tekemiseen vaikuttaneille henkilöille ja yhteisöille. Alkusanat eivät kuulu arvioinnin piriin, mutta niissä ei silti ole sopivaa moittia tai kritisoida ketään. Alkusanojen pituus on enintään 1 sivu. Alkusanojen lopussa on päivämäärä, jonka jälkeen työhön ei ole enää tehty korjauksia.

Tampereella, 25.8.2014

Toimi Kunta

SISÄLLYSLUETTELO

[1. Johdanto 1](#_Toc441001715)

[2. Palkkirakenteiden elementtimenetelmä 2](#_Toc441001716)

[2.1 Laskentamenetelmät 2](#_Toc441001717)

[2.2 Peruskäsitteistö 2](#_Toc441001718)

[2.3 Avaruuspalkkielementti 2](#_Toc441001719)

[2.4 Aktiivisarakeratkaisija 3](#_Toc441001720)

[3. Käyttöliittymäsuunnittelun periaatteita 4](#_Toc441001721)

[3.1 Käyttäjäkokemus 4](#_Toc441001722)

[3.2 Käyttäjätarpeiden kartoitus 4](#_Toc441001723)

[3.3 Käyttäjäkokemuksen suunnittelu 4](#_Toc441001724)

[3.4 Käytettävyyden arviointi 4](#_Toc441001725)

[4. Graafisen käyttöliittymän ohjelmointi Windows-ympäristössä 5](#_Toc441001726)

[4.1 Suunnittelumallit 5](#_Toc441001727)

[4.2 MVC-arkkitehtuuri 5](#_Toc441001728)

[4.3 Windows Ribbon Framework 5](#_Toc441001729)

[4.4 OpenGL-piirtotyökalut 5](#_Toc441001730)

[5. Vaatimukset käyttöliittymälle 6](#_Toc441001731)

[5.1 Asiakasvaatimukset 6](#_Toc441001732)

[5.2 Yhteensopivuus 6](#_Toc441001733)

[5.3 Kilpailijat 6](#_Toc441001734)

[6. Käyttöliittymän toteutus 7](#_Toc441001735)

[6.1 Puunäkymä 7](#_Toc441001736)

[6.2 Tietorakenne 7](#_Toc441001737)

[6.3 Toiminnot 7](#_Toc441001738)

[6.3.1 Palkit 7](#_Toc441001739)

[6.3.2 Tuennat 7](#_Toc441001740)

[6.3.3 Kuormitukset 7](#_Toc441001741)

[6.3.4 Tulokset 7](#_Toc441001742)

[7. Jatkokehitystarpeet 8](#_Toc441001743)

[8. Yhteenveto 9](#_Toc441001744)

[Lähteet 10](#_Toc441001745)

LIITE A: M

KUVALUETTELO

Tämä luettelo on vapaaehtoinen. Kuvaluettelo lisätään *References > insert Table of Figures* ja sieltä *Options… > Build table of figures based on > Style:Figure Caption*. Myös taulukkoluettelon saa samasta kohdasta, kun valitsee viimeisestä kohdasta tyylin *Table Caption*.

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CC-lisenssi Creative Commons -lisenssi

LaTeX ladontajärjestelmä tieteelliseen kirjoittamiseen

SI-järjestelmä ransk. Système international d’unités, kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä

TTY Tampereen teknillinen yliopisto

URL engl. Uniform Resource Locator, verkkosivun osoite

*a* kiihtyvyys

**F**voima

*m* massa

Työssä käytetyt lyhenteet ja merkinnät määritellään ja selitetään kootusti aakkosjärjestyksessä työn alussa ja kun ne esiintyvät tekstissä ensimmäisen kerran Lyhenteiden kanssa käytetään tällöin sulkeita. Selitetekstin tyyli on tässä *Symbol description*. Tämän sivun lopussa on *Section Break*, jotta sivunumerointi menee oikein. Lisäksi johdannon yläotsakkeen (header) asetus *Link to Previous* on pois päältä, ja lisäksi sivunumeron muotoilusta on valittu *Start at 1* (eikä *Continue*).

.

# Johdanto

Vertex

Vertex-ohjelmistot

Miksi tehdään sisäänrakennettu FEM-laskentaosio Vertexin ohjelmistoihin?

Käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus FEM-laskentaosiolle

Minkälaisia ongelmia on tarkoitus laskea? Asiakastarve

Vertexin aiemmat FEM-laskentamoduulit, Numerola

# Palkkirakenteiden elementtimenetelmä

Elementtimenetelmä (*Finite element method*, FEM) on matemaattinen menetelmä differentiaali- ja osittaisdifferentiaaliyhtälöiden reuna-arvotehtävien numeeriseen ratkaisemiseen. Elementtimenetelmällä voidaan muuntaa osittaisdifferentiaaliyhtälö lineaariseksi yhtälösysteemiksi, joka on helposti ratkaistavissa. Muunnos tapahtuu diskretisoimalla kenttäfunktion äärettömän suuri tuntematon arvojoukko äärelliseksi määräksi solmuarvoja, jotka voidaan ratkaista elementtimenetelmällä. Eri tekniikan aloilla tämänlaisia tehtäviä joudutaan ratkaisemaan paljon, joten elementtimenetelmä onkin nykyään levinnyt muun muassa mekaniikan, termodynamiikan, virtausmekaniikan, murtumismekaniikan, akustiikan ja sähkötekniikan aloille. [5][7]

PALKKIRAKENTEIDEN (Direct stiffness method)

Palkkirakenteiden elementtimenetelmä eroaa tästä yllä mainitusta yleistetystä elementtimenetelmästä siten, että siinä diskretoitavat osat, eli palkit, voidaan käsittää yksiulotteisiksi. Tämän johdosta palkkirakenteiden elementtimenetelmä voidaan perustaa suoraan rakenteiden mekaniikan analyyttisten ratkaisumenetelmien teorialle. Tämän tarkoittaa myös sitä, että palkkirakenteiden elementtimenetelmä johtaa teknisen taivutusteorian puitteissa tarkkaan ratkaisuun, toisin kuin likiarvoratkaisun tuottava numeerinen elementtimenetelmä. [7]

Tässä luvussa käsitellään teoriaa, jonka tietämystä tarvitaan palkkirakenteiden elementtimenetelmän käyttämisessä.

Alun perin elementtimenetelmä kehittyi lentokone- ja avaruusteollisuuden lujuusanalyysejä tehneiden insinöörien keskuudessa 1950-luvulla, josta se levisi nopeasti muun muassa erinäisiin rakennus- ja konetekniikan sovellutuksiin.

## Laskentamenetelmät

Tekninen taivutusteoria

Laskentamallin luominen, tärkeys, mallin tehokkuus, yksinkertaistaminen

## Peruskäsitteistö

Rakenteiden mekaniikassa elementtimenetelmän perusajatuksena on jatkuvan materiaalikontinuumin diskretisoiminen äärelliseen määrään elementtejä, jotka liittyvät toisiinsa niin sanotuissa solmukohdissa. Rakenteen muodostamaa elementtijoukkoa kutsutaan laskentamalliksi.

Elementtien väliset solmut voidaan luokitella kahteen kategoriaan: lokaalisolmuihin ja globaalisolmuihin. Lokaalisolmuilla tarkoitetaan yksittäisen elementin päissä tai nurkissa olevia solmuja, joilla elementit liittyvät toisiin elementteihin. Globaalisolmuilla taas tarkoitetaan koko laskentamallin solmuja. Globaalisolmut yksilöidään yleensä juoksevalla numeroinnilla, mutta numeroinnin järjestyksellä ei ole laskennan kannalta väliä. Elementin suunnistus määrää sen alku- ja loppupään. Yksittäisen elementin lokaalisolmut numeroidaan järjestyksessä pienimmästä suurimpaan alkupäästä lähtien.

ESIMERKKI

Lokaalikoordinaatistolla tarkoitetaan yksittäisen elementin paikallista koordinaatistoa, jossa x-akseli osoittaa palkin suuntaan alkupäästä loppupäähän päin. Y- ja Z-akselit valitaan yleensä palkin poikkileikkauksen pääsuuntien mukaan. Koko rakenteelle yhteiselle koordinaatistolle käytetään nimitystä globaalikoordinaatisto. Solmumittausjärjestelmällä tarkoitetaan kussakin tilanteessa voimassa olevaa koordinaatistoa, jossa solmumittaus suoritetaan.

Palkkielementtien solmumittausjärjestelmää joudutaan usein kiertämään, koska palkit voivat osoittaa globaalikoordinaatistossa mielivaltaiseen suuntaan. Koordinaatiston kierto elementin lokaalikoordinaatistosta globaalikoordinaatistoon tehdään niin sanotulla koordinaatiston kiertomatriisilla. Kiertomatriisi kootaan siten, että lokaalikoordinaatiston kantavektoreilla **i**, **j** ja **k** lausutun vektorin **v** sekä globaalikoordinaatiston kantavektoreilla **i**, **j** ja **k** välillä on lineaarinen yhteys:

KAAVA kiertomatriisista ja termeistä

Solmumittausjärjestelmä ja sen kierto

Solmusuureet, siirtymien ja voimien mittaus

Solmut

Sauvaelementti

Palkkielementti

Koordinaatistot (globaali, lokaali)

Ristikkorakenne

Laskentamalli

Jäykkyysmatriisit

Sijoittelusummaus

Pistekuormitukset

Kenttäkuormitukset

## Avaruuspalkkielementti

Jäykkyysmatriisin johto tasopalkkielementistä (derivointi 3-asteen polynomista, koska 4 vapausastetta)

Leikkausmuodonmuutokset

Timoshenko-palkki, leikkauslukkiutumisen esto

## Aktiivisarakeratkaisija

Stafra

# Käyttöliittymäsuunnittelun periaatteita

Asd

## Käyttäjäkokemus

## Käyttäjätarpeiden kartoitus

## Käyttäjäkokemuksen suunnittelu

## Käytettävyyden arviointi

# Graafisen käyttöliittymän ohjelmointi Windows-ympäristössä

Asd

## Suunnittelumallit

## MVC-arkkitehtuuri

## Windows Ribbon Framework

## OpenGL-piirtotyökalut

# Vaatimukset käyttöliittymälle

Asd

## Asiakasvaatimukset

## Yhteensopivuus

Vertexin profiilit

G4, G4 Plant, BD

## Kilpailijat

# Käyttöliittymän toteutus

Asd

## Puunäkymä

## Tietorakenne

## Toiminnot

### Palkit

### Tuennat

### Kuormitukset

### Tulokset

# Jatkokehitystarpeet

Asd

# Yhteenveto

Asd

Lähteet

1. K.J. Bathe, *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982, 735 p.
2. M. Bordegoni, C. Rizzi, *Innovation in Product Design: From CAD to Virtual Prototyping*, Springer-Verlag London Limited, 2011, 188 p.
3. R.D. Cook, D.S. Malkus, M.E. Plesha, R.J. Witt, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, John Wiley & Sons, Inc, 1989, 630 p.
4. M. Hirz, W. Dietrich, A. Gfrerrer, J. Lang, *Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, 466 p.
5. R. Kouhia, M. Tuomala, *Johdatus mekaniikan ja sähkömagnetiikan numeerisiin menetelmiin*, luentomoniste, Tampereen teknillinen yliopisto, 2014, 417 s.
6. M. Rintala, J. Jokinen, *Olioiden ohjelmointi C++:lla*, Talentum, 2005, 466 s.
7. T. Salmi, K. Kuula, *Rakenteiden Mekaniikka*, Pressus Oy, Tampere, 2012, 464 s.
8. STAFRA-3D –manuaali, Insinööritoimisto Lujuustekniikka Oy, 1980, 57 s.

Liite A: M

Lopuksi muutamia pohjaa päivittän