

## Elementtimenetelmän jatkokurssi (5 op)

kevät 2024

**Luennot:** ma 12.15-14 sali RN201, luennoija Reijo Kouhia, RM216, puhelin 040-8490561, sähköposti: [reijo.kouhia@tuni.fi](mailto:reijo.kouhia@tuni.fi)

**Laskuharjoitukset** ovat vapaaehtoisia. Harjoituksissa opiskelija pyrkii itse ratkaisemaan harjoitustehtävät assistentin ohjauksella. Harjoituksia on 2 h/vko torstaisin klo 14-16 luokassa FC112. Harjoitustehtävissä korostuu ohjelmoinnin osuus. Harjoituksia ohjaavat Valtteri Alander (tammikuu-maaliskuu) ja Jani Vilppo (huhtikuu).

**Tavoite:** Antaa perustiedot epälineaarisen rakenneanalyysin elementtimenetelmäproseduureista ja ohjelmoinnista.

**Sisältö:** Johdantona aiheeseen käsitellään Newtonin menetelmää epälineaarisen algebrallisen yhtälösystemin ratkaisemiseksi sekä epälineaarista kontinuumimekaniikkaa. Sauva, palkki, laatta ja 3D-kontinuumielementtien diskreetit tasapaino- ja liikeyhtälöt johdetaan virtuaalisen työn periaatteella. Tavanomaisimmat numeeriset aikaintegrointimenetelmät esitellään sekä niin stabiilius- kuin värähtelytehtävissä esiintyvien ominaisarvotehtävien ratkaisutekniikat. Lisäksi käsitellään myös kontaktiongelman numeriikkaa.

**Kurssimateriaali:** Peter Wriggers, *Nonlinear Finite Element Methods*, Springer-Verlag 2008, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-71001-1>  
Reijo Kouhia, *Computational techniques for the non-linear analysis of structures*, [https://webpages.tuni.fi/rakmek/personnel/kouhia/papers/lecture\\_notes/comp\\_stab.pdf](https://webpages.tuni.fi/rakmek/personnel/kouhia/papers/lecture_notes/comp_stab.pdf), löytyy myös Moodlesta

**Muuta hyvää materiaalia:** K.J. Bathe, *Finite Element Procedures*. 2nd ed. 2014. [https://web.mit.edu/kjb/www/Books/FEP\\_2nd\\_Edition\\_4th\\_Printing.pdf](https://web.mit.edu/kjb/www/Books/FEP_2nd_Edition_4th_Printing.pdf)  
N.-H. Kim, *Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis*, Springer, 2015. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-1746-1>  
T. Belytschko, W.K. Liu, B. Moran, *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*, Wiley.  
M. Kleiber, *Incremental Finite Element Modelling in Non-linear Solid Mechanics*, Ellis-Horwood, 1989.  
J.T. Oden, *Finite Elements of Nonlinear Continua*, McGraw-Hill 1972, Dover 2006.  
J.N. Reddy, *An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis*, Oxford University Press. 2004.  
S. Krenk, *Non-linear Modeling and Analysis of Solids and Structures*, Cambridge University Press. 2009.  
<https://doi.org/10.1017/CB09780511812163>

**Suoritus:** Viikottain annettujen kotitehtävien perusteella.

**Tiedotus:** Moodle

## Alustava luentoaikataulu ja sisältö

- Luento 1, 8.1.** Johdatus epälineaariin ongelmiin. Epälineaarisen algebrallisen yhtälösystemin ratkaisumenetelmiä, Kirjan luku 5.1 ja opetusmoniste.
- Luento 2, 15.1.** Kinemaattinen kuvaus. Kirjan luvut 2 ja 3.1. Taseyhtälöt ja jännitysmitat (luku 3.2). Linearisointi (luku 3.5).
- Luento 3, 22.1.** Kinematiikan jatkoa, nopeudet, elastiset konstitutiiviset mallit (luku 3.3).
- Luento 4, 29.1.** Objektiiviset nopeudet, kokonais- ja päivitetty Lagrangen menetelmä.
- Luento 5, 5.2.** Päivitetty Lagrangen menetelmä, ristikkosauvaelementti kokonais Lagrangen menetelmällä.
- Luento 6, 12.2.** Päivitetty Lagrangen menetelmän mukainen ristikkosauvaelementti. Timoshenkon palkkimalli (lineaarinen kinemaattinen kuvaus).
- Luento 7, 19.2.** Reissnerin geometrisesti tarkka tasopalkkimalli (luku 9.2).
- Luento 8, 4.3.** Polunseuranta-algoritmit (luku 5.1.5 ja opetusmoniste).
- Luento 9, 11.3.** Rakennemallielementtejä, laatat ja kuoret (luvut 9.1-9.2) ja 3D-kontinuumi-elementtejä (luku 4.2 ja osin 10).
- Luento 10, 18.3.** Stabiilius- ja värähtelytehtävien ratkaisumenetelmistä (luku 7 ja opetusmoniste).
- Luento 11, 1.4.** Transientin tehtävän aikaintegrointimenetelmät, (luku 6.1).
- Luento 12, 8.4.** Plastisten ainemallien integrointi, pienet venymät (luku 6.2).
- Luento 13, 15.4.** Kontaktiongelmiin ratkaisusta (luku 11).
- Luento 14, 22.4.** Varaus vierailuluennoiljalle.