

IFC- tiedostomuodon käyttö FEM- mallinnuksen apuna esimerkitapauksessa

Markku Raiskila¹, Joonas Tuikka

Tiivistelmä. Artikkelissa esitetään tiivistetysti rakennelaskennan eteneminen lähtien arkkitehdin luomasta IFC-tiedostosta globaalin FEM-laskentamallin kautta rakennelaskennan yksityiskohtaisempaan FEM-laskentaan esimerkitapauksen avulla.

Avainsanat: IFC, FEM

Vastaanotettu 15.6.2017. Hyväksytty 12.8.2017. Julkaistu verkossa 21.8.2017.

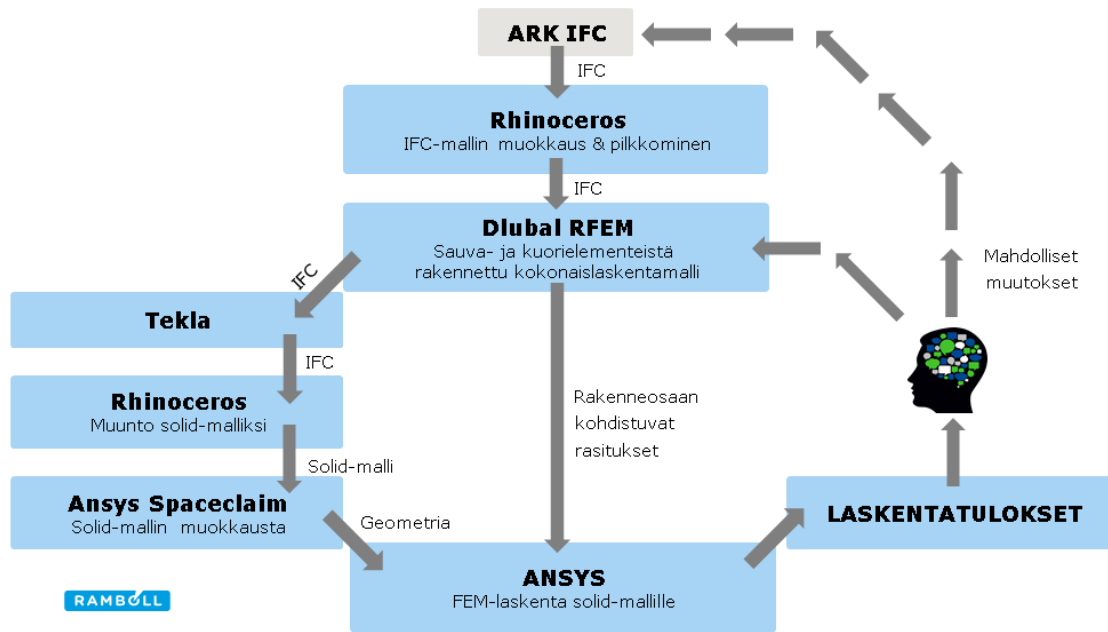
Yleistä

Artikkelissa tarkastellaan esimerkin avulla laskentaprosessi, jossa hyödynnetään IFC tietomuotoa [1] ohjelmistojen välisessä tiedonsiirrossa. Tiedonsiirron toimivuuden merkitys korostuu etenkin suurissa laskentamalleissa, joissa sujuva työnkulku ja työn aikana tapahtuviin muutoksiin varautuminen edellyttää toimivaa tiedonsiirtoa prosessin eri vaiheissa. Nykyohjelmistoin arkkitehdin tuottamasta IFC mallista saadaan tuotettua kuori- ja palkkimallien vaatimat tasojen keskipinnat ja palkkien painopisteakselit. Edelleen kuori- ja palkkimallista päästään sujuvasti tarpeen vaatiessa FEM –mallinnukseen solideilla, jolloin on mahdollista ottaa huomioon mallin tarkempaa detaljiikkaa halutulla tarkkuudella. Laskennan eteneminen eri mallinnusvaiheiden välillä on esitetty kuvassa 1.

IFC-formaatista

IFC on nimilyhenne avoimesta, rakennusteollisuuden monelle eri toimialueelle kehitetystä standardista Industry Foundation Classes, jonka ylläpidosta vastaa BuildingSMART -organisaatio [2]. Standardin taustalla on rakennusteollisuuden tarve avoimelle tiedostomuodolle, jolla voitaisiin parantaa eri ohjelmistojen välistä tiedonsiirtoa ja formaatissa tallennettua dataa voitaisiin hyödyntää koko rakennuksen elinkaaren ajan. IFC:n määrittely perustuu valmistavan teollisuuden tuotemallien kuvaamiseen tarkoitettuihin standardeihin ISO 10303, joka yleisemmin tunnetaan nimellä STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data).

Tässä artikkelissa käsitellyssä rakenteessa tiedonsiirrossa käytetty tiedostomuoto on ollut .ifc, joka on luettavaan muotoon tallennettu, IFC –standardin luokkien ilmentymät riveittäin tallentava formaatti. Muita mahdollisia tallennusmuotoja IFC:llä on XML-muotoon tallentava .ifcXML ja pakattu formaatti .ifcZIP [3].



Kuva 1. Kaavio mallinnus- ja laskentaprosessista

Esimerkkikohteen esittely

Suunnittelussa oleva kohde on kokonaisuudessaan 14-15-kerroksinen rakennus, josta ylimmät yhdeksän kerrosta rakennetaan vanhan, osittain purettavan varistorakennuksen päälle. Vanhasta varistorakennuksesta puretaan kokonaisuudessaan kaksi kerrosta sekä vesikatto. Uudelleen rakennettuna rakennuksessa alimmat kaksi kerrosta ovat kellaritiloja, jotka sisältävät pysäköintihallin ja teknisiä tiloja. Ensimmäinen kerros on uimahalli ja sitä seuraavat kaksi kerrosta ovat liikuntatiloja. Kerroksesta kolme puretaan pois suuri alue keskeltä siten, että kerros käsittää ainoastaan rakennuksen reunoilla kulkevan rengasmaisen arinalaatastion. Neljäs kerros on tekninen välikerros, joka yhdistää vanhat rakenteet uusiin rakenteisiin. Viides kerros on ensimmäinen yhdeksästä uudesta asuinkerroksesta. Asuinkerrosten keskellä, alempien kerrosten liikuntatilojen päällä on avoin sisäpiha.

Vanhan rakenteen jäykistys on aiemmin hoidettu järein 3m halkaisijaltaan olevin pilarein sekä porras- ja hissikuilurakentein. Vanhan rakenteen raudoitusratkaisut edellyttävät myös että suunnitellusta uudisrakentamisesta huolimatta hyödynnettävän vanhan osan jäykistysjärjestelmä ei oleellisesti muutu.

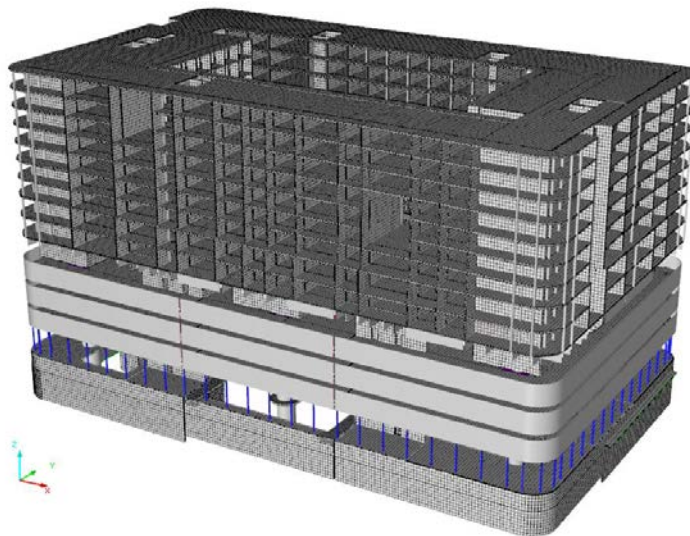
Vanhat rakennelaskelmat

Historian näkökulmasta on mielenkiintoista, että vanhasta rakenteesta on saatavilla vanhat ins.tsto Bertel Ekengrenin tekemät rakennekuvat ja –laskelmat. Rakenne on analysoitu jo

vuonna 1969 kaksiulotteisina kehä- ja arinarakenteina IBM-STRESS tietokoneohjelmistolla [4], [5], [6].

RFEM laskentamalli

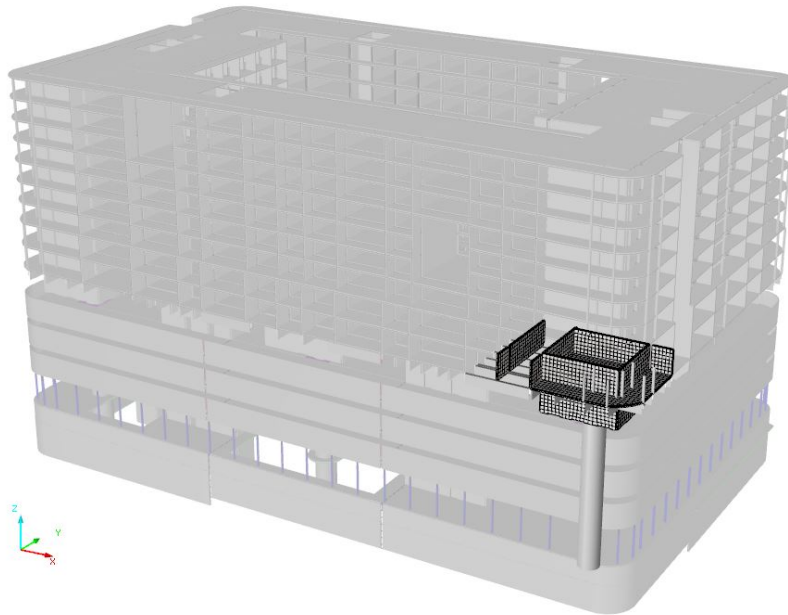
Uuden rakennuksen globaali laskentamalli on mallinnettu elementtimenetelmään perustuvalla *Dlubal Software RFEM* – ohjelmistolla [7] hyödyntäen mallinnusohjelmistossa arkkitehdin tuottamaa, rakennuksen geometriatiedot sisältävää IFC –tiedostoa. Koska arkkitehtuurimallit sisältävät yleensä paljon rakenneosia, joita ei rakennesuunnittelijan rakennemallissa tarvita, niin mallia on tarpeen siivota ja yksinkertaistaa ennen FEM-laskentamallin tekoa. Työkaluna mallin yksinkertaistukseen on käytetty *Rhinoceros*–ohjelmistoa [8], joka soveltuu geometrioiden käsittelyyn erityisen hyvin ja joka tukee hyvin eri formaateissa tapahtuvaa tiedonsiirtoa ohjelmistojen välillä. RFEM-malli on tehty käyttäen kuori- ja palkkielementtejä pohjautuen *Rhinoceros*-ohjelmistosta IFC muodossa tuotuihin seinien, laattojen, palkkien ja pilareiden geometrioihin. RFEM-ohjelmistolla on ratkaistu lineaarisesti elastisella analyysillä halkeilemattoman rakenteen voimasuureet ja siirtymät eurokoodin mukaisille kuormille ja kuormitusyhdistelyille. Kuvassa 2 on esitetty rakennuksen globaali laskentamalli jossa solmuja on 384354, palkkielementtejä 54805 ja kuorielementtejä 345552 kappaletta.



Kuva 2. Uuden rakennuksen FEM-laskentamalli.

Rakennuksen neljänteen kerrokseen, jossa uudet yläpuolisen kerrostalon rakenteet liittyvät vanhoihin varaston suuriin, halkaisijaltaan kolmimetrisiin betonipilareihin, tulee paljon uusia massiivisia betonirakenteita. Sauva- ja kuorimallin ei katsottu riittävän kyseisten liityntärakenteiden analysointiin, joten kyseiset rakenneosat päätettiin analysoida solid-FEM-mallilla. Kuvassa 3 näkyy eroteltuna rakennuksen yhden nurkan liityntärakenne suureen pilariin. Periaatteeltaan vastaavia uuden rakenteen liityntöjä vanhoihin pilareihin on rakennuksessa seitsemän ja liityntään vaativia jäykistäviä kuiluja viisi kappaletta. IFC-standardin implementoinneissa ohjelmistoihin on eroja ja RFEM tukee tiedonsiirtoa Tekla Structures mallinnusohjelmaan [9] .ifc-formaatissa. Kuvan 3 globaaliin FEM malliin korostettu liityntärakenne siirrettiin siksi ensin Teklaan, jossa .ifc-tiedosto avattaessa siihen

tallentuneiden rakenteiden poikkileikkaustietojen, seinien ja laattojen keskipintojen, ja pilareiden ja palkkien painopisteakseleiden perusteella rakentuu rakenneosien täydet 3D geometriat. Teklalla on siirron jälkeen mahdollista tallentaa uusi .ifc-tiedosto asetuksilla, jossa poikkileikkaustietojen esim. IPE200 sijasta siirrytään rakennosien täysi geometria. Tuo täyden geometrian sisältävä .ifc-tiedosto voidaan sitten lukea jälleen Rhinoceros-ohjelmistoon edelleen muokattavaksi ja eteenpäin vietäväksi.



Kuva 3. Tarkemman analyysin vaativa osamalli.

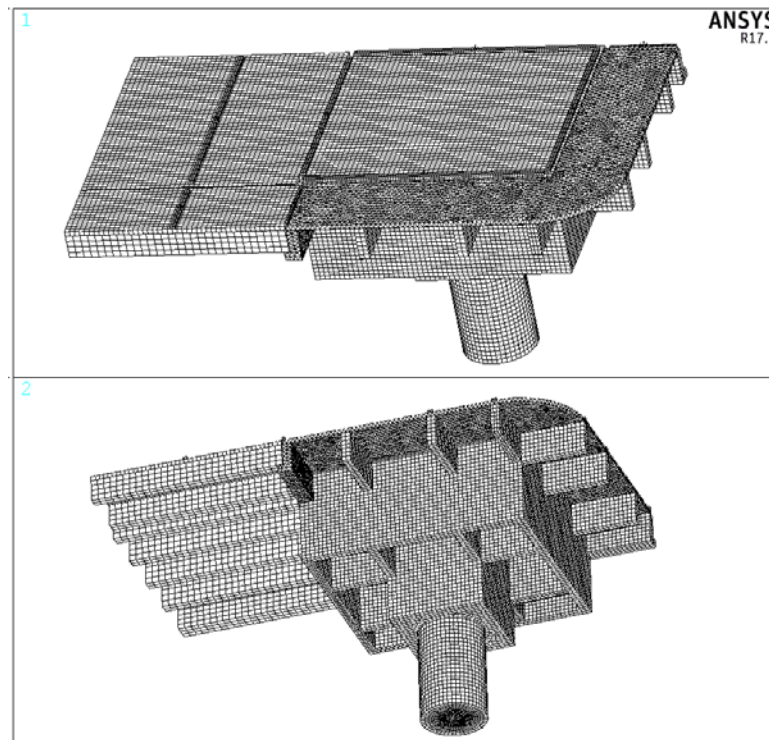
Pilariliitoksen laskentamalli

Kuori/palkki- mallista saatu solid-geometria vaati vielä muokkausta soveltuakseen laskentamalliksi. Laskentamallissa on yhtenäisen betonirakenteen lisäksi siihen nivelellisesti liittyviä palkkeja ja laattoja joiden vaatimat liittynät piti mm. mallinnuksessa ottaa huomioon. Laskentaohjelmaksi valitun Ansys Mechanical Premium 17.2 ohjelmistoon [10] liittyy Ansys SpaceClaim [11] mallinnusohjelmisto, josta löytyy suora geometrian siirtävä linkki aiemman vaiheen Rhinoceros-ohjelmistoon. SpaceClaim ei toistaiseksi tue .ifc-formaattia, joten tuota linkkiä hyödyntäen malli siirtyi Ansys ympäristöön ja tarpeelliset mallin muokkaukset tehtiin pääosin SpaceClaim-ohjelmistolla Rhinocerosin ollessa tässä vaiheessa vain tiedonsiirron apuväline.

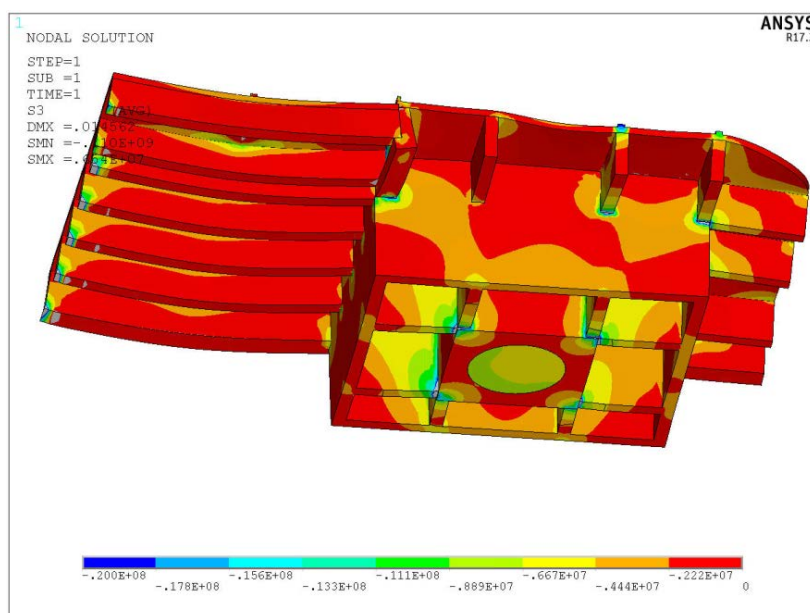
Pilariliitoksen geometria verkotettiin 20 ja 10 solmuisilla solid-FEM-elementeillä SOLID186 ja SOLID187. Liitospinnoissa käytettiin kontaktielementtejä CONTACT174 ja TARGET170 elementtejä. Solmuja mallissa oli 998711 ja elementtejä yhteensä 635703. Kuva solid-elementein verkotetusta osamallista on esitetty kuvassa 4. Globaalista mallista erotetun mallin koko valittiin siten, että tukireunaehdot voidaan riittävällä tarkkuudella mallintaa ja RFEM mallista haetut katkaistujen yläpuolisten rakenneosien rasitukset saadaan luotettavasti osamalliin siirrettyä kuormiksi. Kuormat Ansys malliin syötettiin käsin RFEM-ohjelmistosta saatujen tulosteiden perusteella. Laskenta tehtiin vain globaalien laskentamallien valituille pahimmille kuormitusyhdistelyille. Kuvan rakenneratkaisussa on tutkittu

vaihtoehtoa, jossa vanha pileri jatketaan momenttijäykällä liitoksella uuden, pilarin ympärille valettavan betonirakenteen kanssa. Pystykuormien halutaan siirtyvän uudelta, kuormitetulta rakenteelta ripustettuna vanhan katkaistun pilarin yläpäälle ja laskentamallissa pilarin varren vaippapinnalle on tuosta syystä mallinnettu kitkaton kontaktipinta, joka siirtää vain pintaa vastaan kohtisuorat puristusrasitukset uudelta rakenteelta pilarille.

Kuvassa 5 on esitetty laskettu pahimman kuormitusyhdistelyn aiheuttama suurin puristava pääjännitys kennorakenteen alapinnan tasossa.

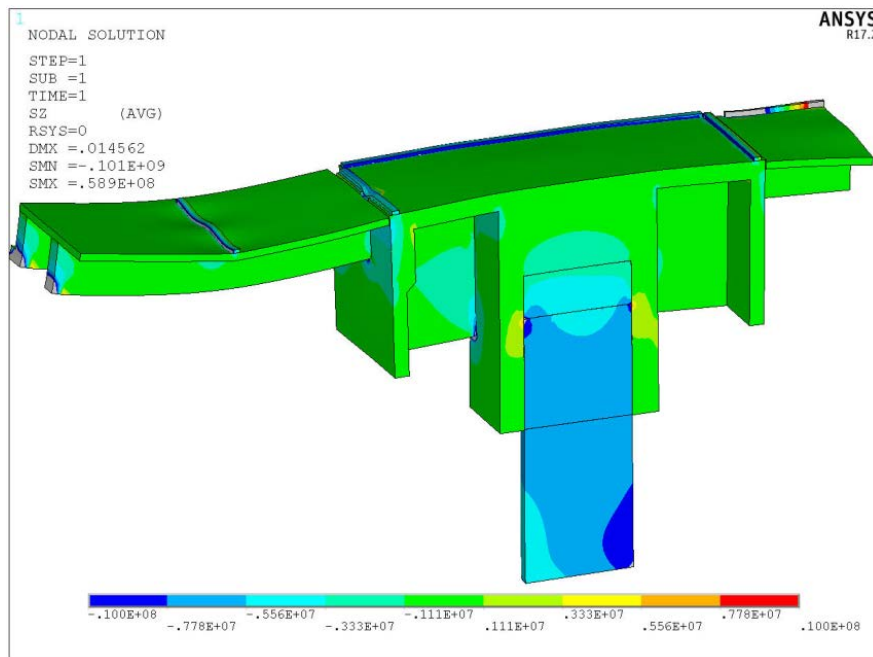


Kuva 4. Osamallin solid-elementtiverkko



Kuva 5. Suurin puristava pääjännitys [Pa]

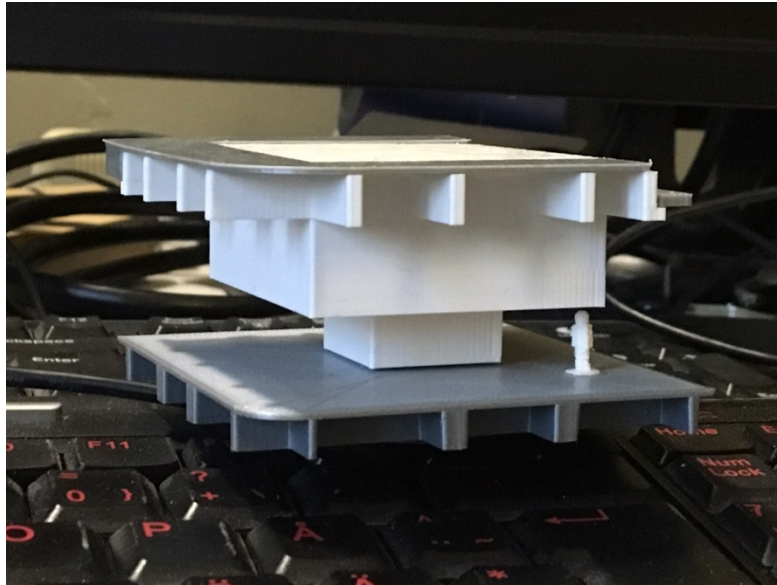
Kuvassa 6 on esitetty rakenteen pystyjännitykset pilarin keskikohdan pystyleikkauspinnalla. Kuvasta on havaittavissa haluttu pystykuormien siirtyminen katkaistun pilarin yläpinnan välityksellä.



Kuva 6. Pystysuuntaiset jännitykset [Pa]

3D tuloste

Rakennusprojektien eri osapuolien ymmärrys rakenteiden mekaniikasta ja laskentatuloksista vaihtelee suunnittelualakohtaisesti suuresti, jolloin on hyvä, että rakenneratkaisua ja rakenneratkaisuun liittyvää rakentamisjärjestystä voidaan nykyään havainnollistaa 3D virtuaalimallien lisäksi myös printattujen 3D-tulosteiden avulla. Esimerkkitapauksessa FEM-laskentaa varten tehty solid-geometriamalli oli sellaisenaan siirrettävissä SpaceClaim ohjelmistosta 3D-tulostimen ohjausohjelmistoon STL-tiedostomuodossa. Tulostuksessa käytettiin Ultimaker 3 Extended tulostinta ja siihen liittyvää Cura-ohjainohjelmistoa [12]. Kuvassa 7 on esitetty analysoitu, eri rakennusvaiheista koostuva rakennedetalji, tulostettuna kolmen palan koottavaksi palapeli 1:200 skaalassa. Aikaa eri osien tulostamiseen kului yhteensä noin kahdeksan tuntia.



Kuva 7. 3D printtituloste osarakenteesta

Viitteet

- [1] IFC Industry Foundation Classes <http://buildingsmart.org/ifc/>
- [2] BuildingSmart <http://buildingsmart.org/>
- [3] Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacs, Kathleen Liston. *BIM Handbook*. Wiley & Sons Inc. 2011 611 pages. ISBN 978-0-470-54137-1
- [4] STRESS (structural engineering system solver) a computer programming system for structural engineering problems, [Steven J. Fenves](#), School of Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1963 - Technology & Engineering - 96 pages
- [5] Steven J. Fenves, Robert D. Logher, Samuel P. Mauch. STRESS: A Reference Manual. 388 pages ftp://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/mit/civil_engr/stress/Fenves_Stress_A_Reference_Manual_1965.pdf
- [6] Structural Engineering System Solver (STRESS) for the IBM 1130, Model 2B: (1130-EC-03x) Version 2, System Manual, International Business Machines Corporation 1967 - [IBM 1130 \(Computer\)](#) - 176 pages
- [7] Dlubal RFEM <https://www.dlubal.com/en/products/rfem-fea-software/what-is-rfem>
- [8] Rhinoceros <https://www.rhino3d.com/>
- [9] Tekla Structures <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>
- [10] Ansys <http://www.ansys.com/>
- [11] Ansys Spaceclaim <http://www.ansys.com/products/3d-design/ansys-spaceclaim>
- [12] Ultimaker, Cura <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>

Markku Raiskila, Joonas Tuikka,
Ramboll Finland Oy
etunimi.sukunimi@ramboll.fi