

METSTA

Numeeristen menetelmien käyttö Eurokoodien kanssa

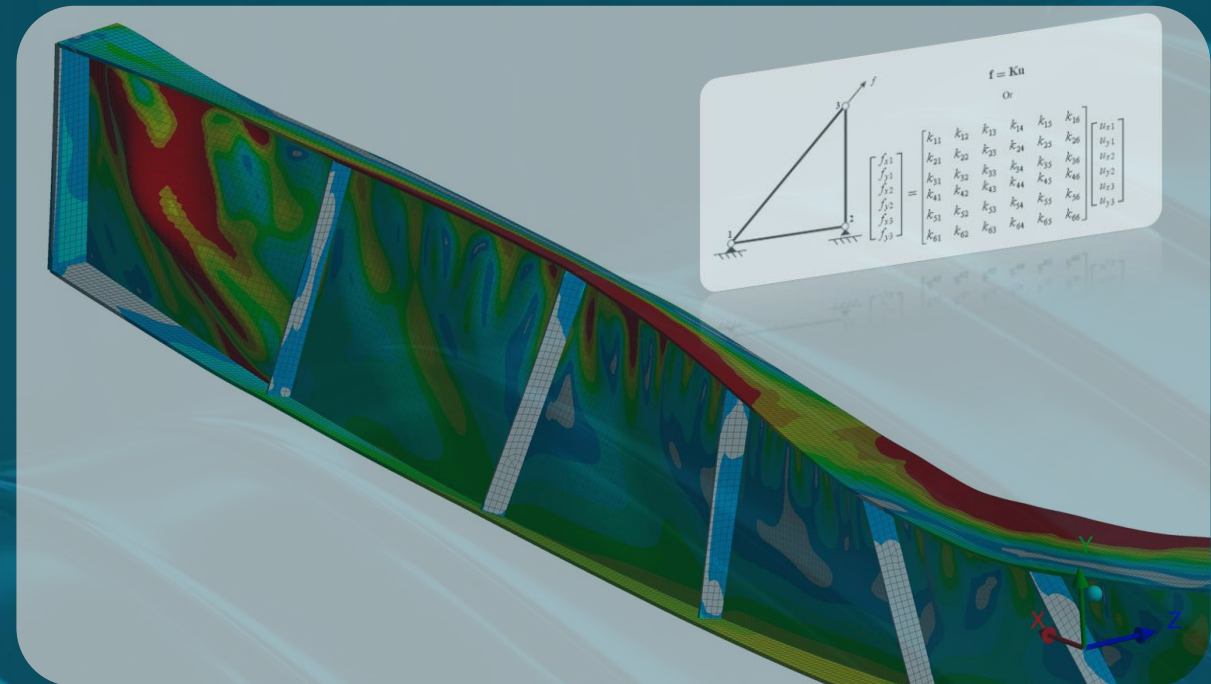
28.9.2023

Ville Laine

SR 103 puheenjohtaja (METSTA)

A-Insinöörit Suunnittelu Oy, teknologiajohtaja

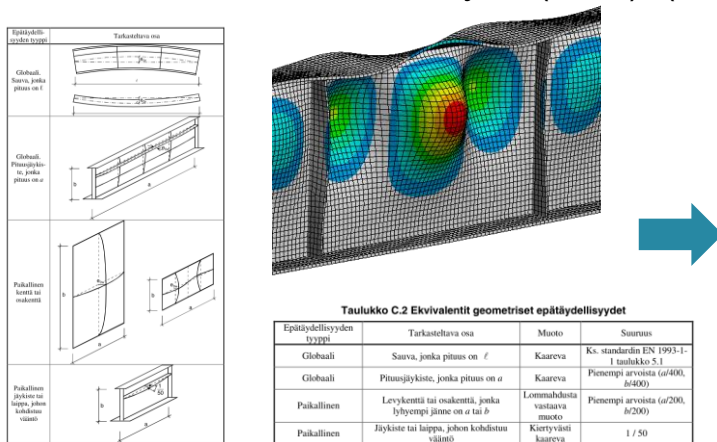
www.metsta.fi



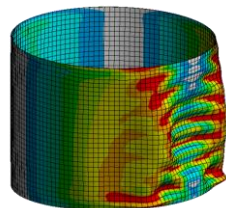
Numeeristen menetelmien ohjeistaminen Eurokoodeissa

Nykyisin käytössä oleva Eurokoodi

- EN 1993-1-5 Annex C (informative) "Finite Element Methods of analysis (FEM)" (4 s.)



- EN 1993-1-6 "Strength and Stability of Shell Structures" (Design by global numerical analysis (MNA, LBA, GMNIA)) (12 s.)
- EN 1999-1-5 "Shell structures" (Design by numerical analysis) (~2 s.)



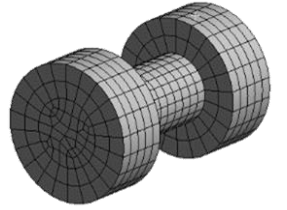
Toisen sukupolven Eurokoodi

- EN 1990 new Annex (informative): "Design assisted by numerical methods" (19 s.)
- EN 1991-1-4 new Annex (informative): "Guidance on derivation of design parameters from wind tunnel tests and numerical simulations" (22 s.)
- EN 1992-1-1 new Annex (informative): "Safety formats for non-linear analysis" (5 s.)
- EN 1993-1-6 (Design by computational analysis (MNA, LBA, GMNIA)) (14 s.)
- EN 1993-1-14: "Design assisted by finite element analysis" (60 s.)
+ CEN/TR 1993-1-141 "Background and Explanations on EN 1993-1-14" (174 s.)
- EN 1999-1-1 new Annex B (informative): "Finite Element Methods of analysis (FEM)" (5 s.)
- EN 1999-1-5 (Design by numerical analysis) (~2 s.)

+ Mahdollisesti myös muissa uusissa EC-osissa ohjeita, tai tulossa ohjeistuksia

Numeeriset menetelmät toisen sukupolven Eurokoodeissa

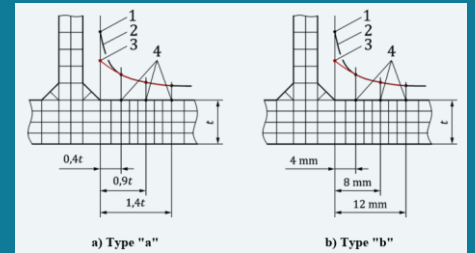
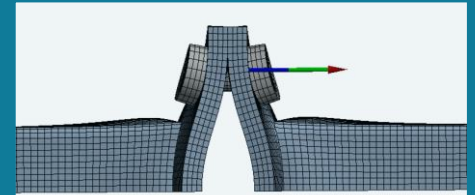
Miksi **numeeristen menetelmien** käyttöä halutaan ohjeistaa standarditasolla aiempaan enemmän?



- Nykyistä kattavampi standarditasoinen tuki ja selkeämmät ohjeet
 - Numeeristen menetelmien käyttötavat, analyysityypit, soveltaminen, suunnitteluoletukset, tulosten tulkinta, suunnittelun varmuustaso



- **Variaation vähentäminen mitoitussuorituksissa**
- **Vertailtavuus, toistettavuus ja tarkastettavuus**
- **Suunnittelun varmuustason varmistaminen (~~safety bypass~~)**



• Uuden ohjeistuksen oletukset / lähtökohdat

- Numeerisia menetelmiä käyttävä suunnittelija osaa menetelmään liittyvän teorian, omaa kokemusta numeeristen menetelmien soveltamisesta ja tuntee käyttämänsä ohjelman ominaisuudet ja rajoitteet
- Käytetty ohjelmisto on varmennettu ja soveltuu tarkistettavan rajatilan analysointiin
- Numeerisia menetelmiä käyttävä suunnittelija tuntee kyseiseen mitoitustehtävään liittyvät (EC) standardit
- Analyysit ovat raporttien perusteella toistettavissa

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen suunnitteluperusteissa EC0 (2.gen)

Tulossa **opastava liite** numeeristen menetelmien käytön periaatteista ja varmuustason varmistamisesta **Eurokoodien mukaisessa suunnittelussa** (vrt. nykyisen Eurokoodin EN 1990, liite D, "Design assisted by testing")

EN 1990 new Annex (informative): "Design assisted by numerical methods" (19 s.)

- Periaatteellisen tason ohjeita numeeristen menetelmien käyttöön rakenteiden suunnittelussa
 - Eurokoodin mukainen mitoitus (SLS, ULS ja väsymismitoitus)
 - Sovellettavissa myös olemassa olevien rakenteiden arviointiin
- Ohjeet ja analyysimenetelmien kuvaukset annettu materiaali riippumattomia
- Numeeristen menetelmien käytön luokittelu, Validointi & Verifointi, Tilastolliset menetelmät suunnitteluarvon määrittämiseen
- Viimeisin WG –draft (2023-05). (EN 1990-1 package 2b, CEN-Enquiry alkaa 2024-03 ja FV 2025-10)
- Numeeristen menetelmien käytön luokittelu
 - **Indirect design method**
 - Eurokoodin mitoituksen pohjaksi tehdyt numeeriset analyysit
 - **Direct design method**
 - Eurokoodin mukaisen suunnitteluarvon määrittäminen suoraan numeerisella analyysillä
 - **Numerical simulations**
 - Numeeriset simulaatiot täydentämään kokeellista mitoitus

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen suunnitteluperusteissa EC0 (2.gen)

Tulossa **opastava liite** numeeristen menetelmien käytön periaatteista ja varmuustason varmistamisesta **Eurokoodien mukaisessa suunnittelussa** (vrt. nykyisen Eurokoodin EN 1990, liite D, "Design assisted by testing")

EN 1990 new Annex (informative): "Design assisted by numerical methods" (19 s.)

- Validoinnin ja verifiointin vaatimukset
 - Validointi: **Vertailu tunnettuihin arvoihin**. Osoitetaan, että numeerinen malli kuvaa tutkittavaan ilmiöön liittyvät fysikaaliset ilmiöt oikein tai mitoituksellisesti konservatiivisesti
 - Verifiointi: Osoitetaan **numeerisen ratkaisun riittävä matemaattinen tarkkuus** ja tulosten herkkyyks esim. diskretisoinnille
- Tilastollinen tarkastelu suorassa suunnitteluarvon määrittämisessä
 - EN 1990 liitteeseen D perustuva menetelmä päästä numeerisen analyysin tuloksista suunnitteluarvoon EN 1990 varmuustaso säilyttäen

- Direct design method → **Partial factor method**

$\gamma_{Rd,FE}$ = Numeerisen mallin epätarkkuuteen liittyvä osavarmuuskerroin

$$R_{d,NUM} = \frac{R_{NUM} \{ \eta X_k ; a_d ; \sum F_{Ed} \}}{\gamma_m}$$

$$R_d = \frac{R_{d,NUM}}{\gamma_{Rd,FE}}$$

$$\gamma_{Rd,FE} = \frac{1}{b \exp(-k_{d,n} \alpha_\delta Q_\delta)}$$

where $b, \delta, k_{d,n}, \alpha_\delta, Q_\delta$ are defined and explained in Annex D and Table D.2.

- Direct design method → **Global method**

γ_R = "Global resistance factor"

$$R_{d,NUM} = \frac{R_{NUM} \{ \eta X_a ; a_a ; \sum F_{Ed} \}}{\gamma_R}$$

$$Q_{rt} = \frac{1}{k_\infty \alpha_{rt}} \ln \left(\frac{R_m}{R_k} \right)$$

The value of γ_R may be determined from the design value method according to Annex D.8

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen suunnitteluperusteissa EC0 (2.gen)

Tulossa **opastava liite** numeeristen menetelmien käytön periaatteista ja varmuustason varmistamisesta **Eurokoodien mukaisessa suunnittelussa** (vrt. nykyisen Eurokoodin EN 1990, liite D, "Design assisted by testing")

EN 1990 new Annex (informative): "Design assisted by numerical methods" (19 s.)

- Validoinnin ja verifiointin vaatimukset

- Validointi: Vertailu tunnettuihin arvoihin. Osoitetaan, että numeerinen malli kuvaa tutkittavaan ilmiöön liittyvät fysikaaliset ilmiöt oikein tai mitoituksellisesti konservatiivisesti
- Verifiointi: Osoitetaan numeerisen ratkaisun riittävä matemaattinen tarkkuus ja tulosten herkkyys esim. diskretisoinnille

Tarkemmat ohjeet rakenteiden kapasiteettien määrittämiseen numeerisin menetelmin ja osavarmuuksien $\gamma_{Rd,FE}$, γ_R , tms. määrittämiseen annetaan / voidaan antaa materiaaliosissa EN 1992 - EN 1999

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen kuormaosissa EC1 (2.gen)

Tulossa **opastava liite** numeeristen simulaatioiden (CFD) ja tuulitunnelikokeiden ohjeistamiseen **Eurokoodin tuuliosaan**

EN 1991-1-4 new Annex (informative): “Guidance on derivation of design parameters from wind tunnel tests and numerical simulations” (22 s.)

- Liitteen tarkoituksena on tarjota suunnittelijalle perustiedot yleisimmistä tuulitunnelitestien ja simulointimallien menetelmistä
- CFD - analyysien ohjetaso
 - *esisuunnittelu, viihtyvyyteen liittyvät tarkastelut, rakennemuotojen muutosten suhteelliset vaikutukset*
- EN 1991-1-4 (2.gen) CEN-Enquiry alkaa 2024-03 (FV 2025-10)

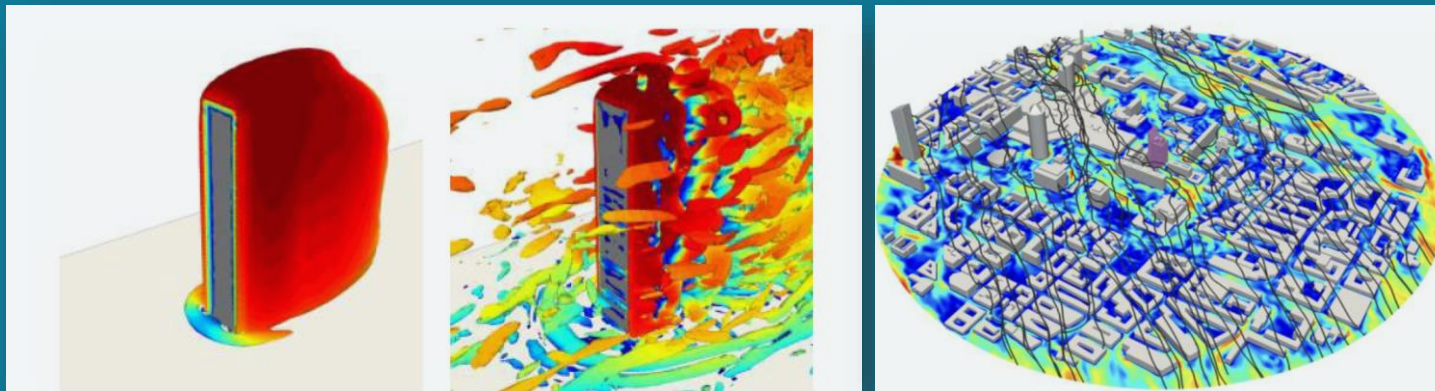


Table K.1 — Fields of applicability of CFD and WTT.

Class of investigations	CFD		WTT	
	Prelim. stage	Detailed Design	Prelim. stage	Detailed Design
Pedestrian comfort ⁽¹⁾	Y	Y	Y	Y
Wind shielding	Y	N	Y	Y
Topographic effects	Y	Y	Y	Y
Local pressures	Y	N	Y	Y
Overall forces (drag, lift, moment)	Y	N	Y	Y
Gust buffeting response	Y	N	Y	Y
Vortex shedding	Y	N	Y	Y
Galloping	Y	N	Y	Y
Flutter	Y	N	Y	Y

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen betoniosissa EC2 (2.gen)

Tulossa **opastava liite** epälineaaristen analyysien soveltamisesta **EC2 mukaisessa suunnittelussa**

EN 1992-1-1 new Annex (informative): “Safety formats for non-linear analysis” (5 s.)

- Liitteessä esitetty lisäohjeita betonirakenteiden suoraan kapasiteetin määrittämiseen numeerisesti
 - Kirjattu periaatteelliset ohjeet, jotta varmuustaso säilyy myös epälineaarisia numeerisia analyysimenetelmiä käytettäessä
 - Yleinen (EN 1990 liite D) tapa päästä numeerisen analyysin tuloksista suunnitteluarvoon
 - Ei sisällä yksityiskohtaisia ohjeita FE-analyysien oletuksiin ja tulosten tulkintaan EC2 mukaisessa mitoituksessa, tai esimerkiksi betonin halkeilumallien ja parametrien käyttämiseen
- Liite sisältyy Formal Votessa 2023-05 hyväksytyyn EN 1992-1-1 (2.gen)

- Betonirakenteiden ULS kapasiteetin todennus epälineaarilla analyysilla

- Partial factor method (PFM)

γ_{Rd} = Numeerisen mallin epätarkkuuteen liittyvä osavarmuuskerroin

$$R_d = \frac{R\{X_d; a_d\}}{\gamma_{Rd}}$$

$R\{\dots\}$ is the structural resistance based on the numerical simulation;

Suunnitteluoletuksilla, sisältäen osavarmuudet

$$\gamma_{Rd} = \frac{\exp(\alpha_R \cdot \beta_{tgt} \cdot V_\theta)}{\mu_\theta}$$

- Global factor method (GFM)

γ_R^* = "Global resistance factor" (materiaaliin and geometriaan liittyvät epävarmuudet)

$$R_d = \frac{R_m\{X; a\}}{\gamma_R^* \cdot \gamma_{Rd}}$$

$R_m\{\dots\}$ is the mean value of structural resistance based on the numerical simulation

$$\gamma_R^* = \exp(\alpha_R \cdot \beta_{tgt} \cdot V_R^*)$$

- Full probabilistic method (FPM); *Full probabilistic method shall be according to EN 1990:2023, Annex C*

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen betoniosissa EC2 (2.gen)

Tulossa **opastava liite** epälineaaristen analyysien soveltamisessa **EC2 mukaisessa suunnittelussa**

EN 1992-1-1 new Annex (informative): “Safety formats for non-linear analysis” (5 s.)

- Liitteessä annettu myös yksinkertaistettu vakioarvo ”numeerisen mallin epätarkkuuteen liittyvään osavarmuuskertoimeen”, γ_{Rd}

(2) If probabilistic calculation according to (1) is not performed, γ_{Rd} should be set to fixed value.

NOTE Unless the National Annex gives different values, the value of γ_{Rd} can be taken as:

- $\gamma_{Rd} = 1,30$ for numerical models in general accounting for also statistical uncertainty;
- $\gamma_{Rd} = 1,06$ when 1D beam elements are used and bending failure is the determining failure mode.

The proposed values for γ_{Rd} refer to a reliability index $\beta_{ref} = 3,8$ for a 50-years reference period.

- Lisäksi, jos numeerisen analyysin lopputulos erityisen herkkä betonin ja raudituksen materiaaliominaisuuksien tilastolliselle vaihtelulle, vaaditaan 15 % lisäystä ”numeerisen mallin epätarkkuuteen liittyvään osavarmuuskertoimeen”, γ_{Rd}

(8) The sensitivity of the response of non-linear numerical model to influence of the probabilistic distributions of materials properties may be assessed by means of three preliminary non-linear numerical simulations using:

- mean concrete properties combined with design reinforcement properties;
- design concrete properties combined with mean reinforcement properties;
- design concrete properties combined with design reinforcement properties.

$$\gamma_{Rd} = 1.30 \times 1.15 = 1.50$$

NOTE Unless more detailed probabilistic investigation of structural resistance is performed or the National Annex gives other specifications, an increase of the partial safety factor γ_{Rd} of 15 % applies.

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen teräsosissa EC3 (2.gen)

Tulossa tiivis **EC3-standardi** elementtimenetelmän soveltamisesta **EC3:n mukaisessa suunnittelussa** ja laajempi esimerkkejä sisältävä **CENin TR (Technical Report)** -dokumentti standardin käytön tueksi

EN 1993-1-14 FEM:n käyttö teräsrakenteiden suunnittelussa, “Design assisted by finite element analysis” (60 s.)

- FEM:n soveltamisen periaatteet ja vaatimukset **EC3-osien mukaisessa staattisessa mitoituksessa (SLS ja ULS)** ja väsymimitoituksessa EN 1993-1-9 mukaisesti
- FEM:n soveltamisen periaatteet **teräsrakenteiden simulointiin** tutkimushankkeissa
- Ei sisällä dynaamisten analyysien periaatteita eikä vaatimuksia
- **CEN-Enquiry alkanut 2023-09 (FV 2025-04)**

- hot-rolled profiles,
- cold-formed members and sheeting,
- welded plated profiles,
- stainless steel profiles,
- plate assemblies,
- shell structures,
- welded and bolted joints.

CEN-Enquiry kommentoitavat versiot saatavilla SFS:n lausuntopalvelusta

<https://lausunto.sfs.fi/> Jos löydät kommentoitavaa olethan ajoissa yhteyksissä ville.laine@ains.fi

CEN/TR 1993-1-141 ”Background and Explanations on EN 1993-1-14” (draft 174 pages)

- Standardin kanssa sisältörakenteeltaan vertailukelpoinen tukimateriaali
- Selittävää ja tarkentavaa käsikirjamaista tekstiä standardin kappaleisiin
- Validointi ja suunnitteluesimerkkejä x kpl (viimeisimmässä draftissa 8 validointiesimerkkiä ja 4 suunnitteluesimerkkiä)
- Viimeisin **WG –draft (2023-06)**. TR-dokumentti ei tarvitse CEN-Enquiryä eikä Formal-votea, joten valmistuu omaa tahtia ja standardia helpompi jatkokehittää

EN 1993-1-14 + CEN/TR 1993-1-141

FE-analyysien luokittelu

Verifiointi ja validointi

FE-mallinnus

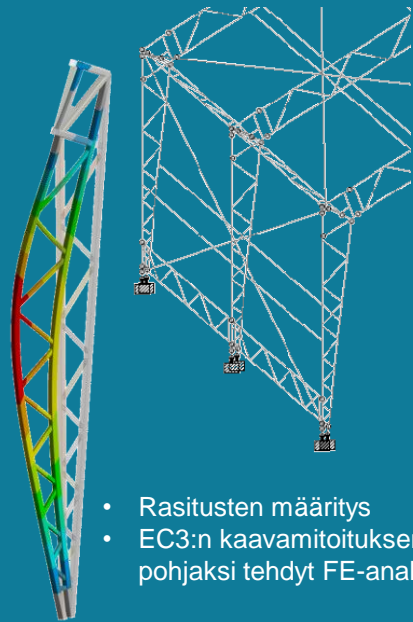
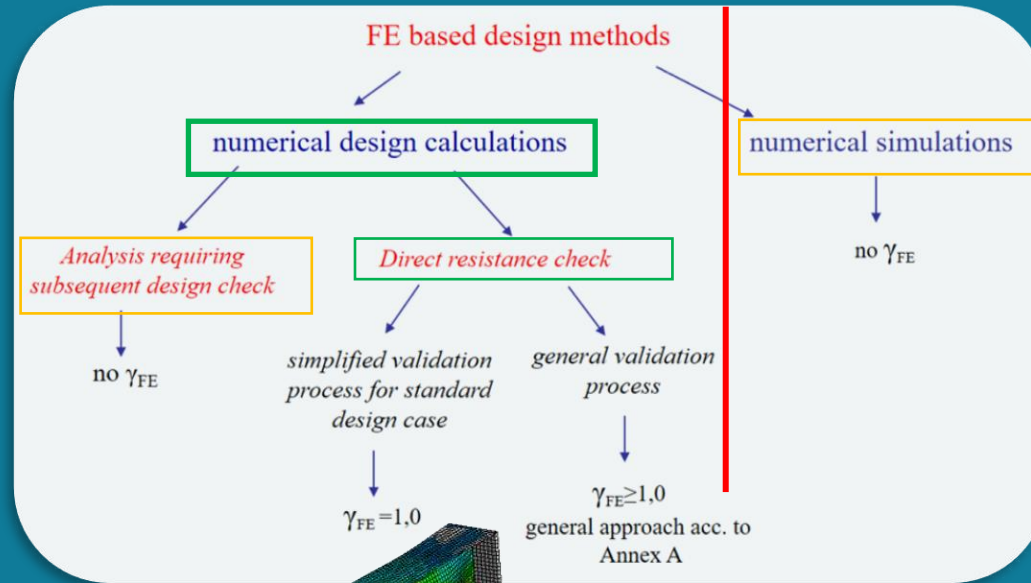
Materiaalimallit

Alkuhäiriöt

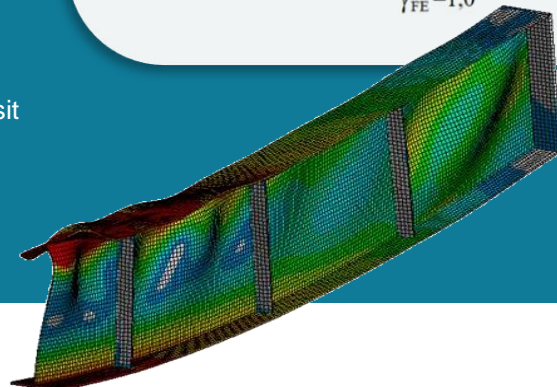
Suunnitteluarvo

Väsyminen

- Selkeä jako analyysin käyttötarkoituksen mukaan: Numerical design calculations ja Numerical simulations

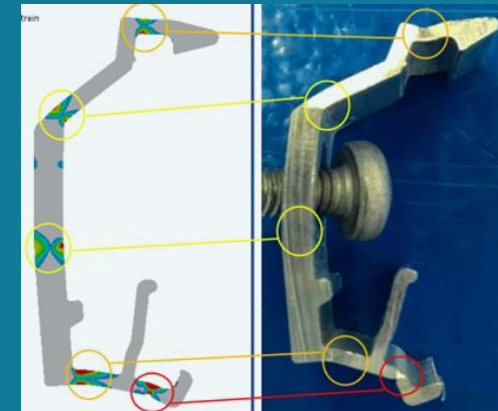


- Rasitusten määrittäminen
- EC3:n kaavamitoituksen pohjaksi tehdyt FE-analyysit



- EC3 mukaisen suunnitteluarvon määrittäminen suoraan FE-analyysillä

- Tutkimusluonteiset FE-simulaatiot esim. kuormituskokeiden vähentämiseksi
- Kokeellinen mitoitus (EN 1990)



EN 1993-1-14 + CEN/TR 1993-1-141

FE-analyysien
luokittelu

Verifiointi ja
validointi

FE-mallinnus

Materiaalimallit

Alkuhäiriöt

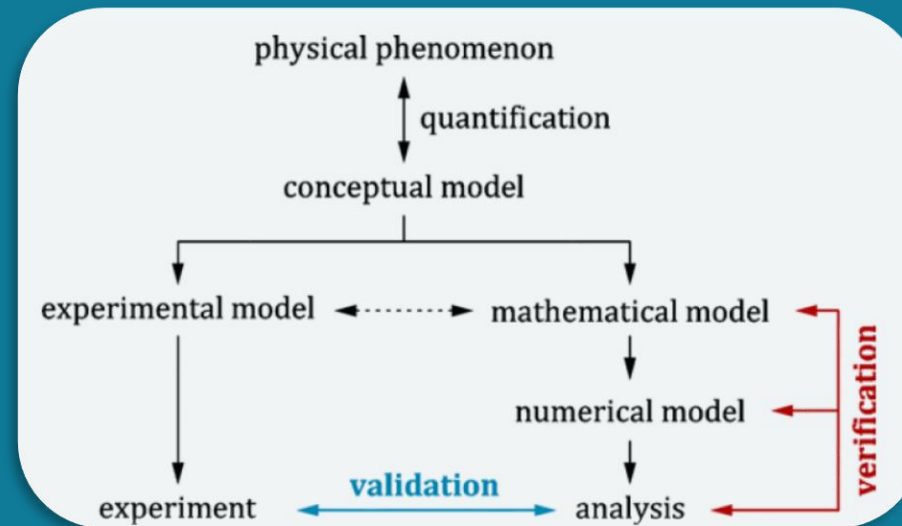
Suunnitteluarvo

Väsyminen

- Mallien tai mallinnustekniikoiden validointi- ja verifiointivaatimukset
 - Pystyttävä osoittamaan, että analyysimalli tuottaa mitoituksellisesti konservatiivisen kuvauksen tutkittavasta vauriomuodosta
- TR – dokumentissa esimerkkejä, joita suunnittelija voi hyödyntää validointiin

Validointi

- Vertailu kokeellisiin tai tunnettuihin arvoihin
- Osoitetaan, että malli kuvaa vauriomuotoon liittyvät fysikaaliset ilmiöt oikein tai konservatiivisesti



Verifiointi

- Osoitetaan numeerisen ratkaisun riittävä tarkkuus verrattuna tarkkaan matemaattiseen ratkaisuun
- Osoitetaan esim. mallin herkkyys diskretisoinnille

EC3:n vauriomuotojen tapauksessa validointi ja verifiointi voidaan tehdä vastaavien mallien aiempiin kokemuksiin viitaten (= vauriomuodon analysointiin käytettävän mallinnustekniikan osoitus)

EN 1993-1-14 + CEN/TR 1993-1-141

FE-analyysien luokittelu

Verifiointi ja validointi

FE-mallinnus

Materiaalimallit

Alkuhäiriöt

Suunnitteluarvo

Väsyminen

- Alkuhäiriöihin tulee sisällyttää geometriset alkuhäiriöt, jäännösjännitykset ja mahdolliset reunaehtopoikkeamat
- Teräsrakenteiden EC3-mitoituksessa tarvittavat alkuhäiriöiden mallinnustekniikat ja ohjeet esitetty
 - Geometriset alkuhäiriöt + jäännösjännitykset

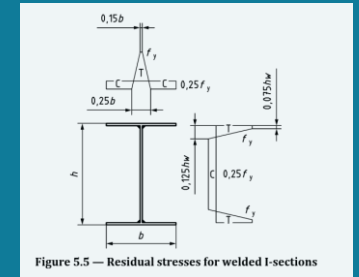
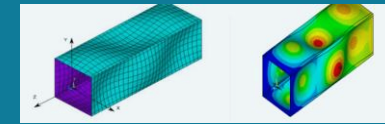


Figure 5.5 — Residual stresses for welded I-sections

2. Ekvivalentit alkuhäiriöt (EC3)

(5) Equivalent geometric imperfections for use in geometrically and materially non-linear analysis (GMNIA) of structural members for flexural buckling may be determined from Formula (5.15). The equivalent imperfection shape may be either a bow (half-sine wave) or buckling mode.

$$e_0 = \frac{\alpha L}{150} \text{ but } e_0 \geq \frac{L}{1000} \quad (5.15)$$

where:

L the member length,

α the imperfection factor, taken from EN 1993-1-1 or EN 1993-1-4.

Table 5.7 — Equivalent geometric imperfections for plates and plated structures

Type of imperfection	Component
longitudinal stiffener with length a	
panel or sub-panel	

EC3 -mitoitus perustuu ekvivalentteihin alkuhäiriöihin, joita sovelletaan ominaismuotoihin (2).
 EC3 -mitoitus perustuu oletukseen, että valmistus tapahtuu EN 1090-2 mukaisesti.

MUTTA EN 1090-2 toleransseja ole määritetty numeerisen laskennan näkökulmasta
 → (1) ja (2) eivät johda samaan tulokseen.

Numerical model **Application of imperfections**

equivalent geometric imperfections
(incl. geometrical + structural imperfections)

$$e_{0,loc} = \frac{\min\{a; b\}}{200}$$

$$e_{0,glo} = \frac{\min\{a; b\}}{400}$$

geometric + structural imperfections
(EN 1090-2 + residual stresses)

local

$$e_{g,loc} = \left(\frac{a}{b} \leq 2 \frac{a}{250} \right) \cdot 0.8$$

global

$$e_{g,glo} = \frac{\alpha}{400} \cdot 0.8$$

σ_{res}

EN 1993-1-14 + CEN/TR 1993-1-141

FE-analyysien
luokittelu

Verifiointi ja
validointi

FE-mallinnus

Materiaalimallit

Alkuhäiriöt

Suunnittelu-arvo

Väsyminen

- Suunnittelu-arvon määrittäminen; Numerical design calculations → Direct resistance check (ULS)
 - Karakteristinen arvo suoraan FE-mallin kapasiteetista jakamalla γ_{FE} :llä
 - Suunnittelu-arvo (esim. $R_{pl,d}$) jakamalla karakteristinen arvo kyseiseen vauriomuotoon liittyvillä osavarmuuksilla (EN 1993 kaikki osat + FI NA)
 - Kuorirakenteiden suunnittelu-arvon määrittämisen erityissäännöt jatkossakin EN 1993-1-6
- Kun numeerinen malli on verifioitu ja validoitu EC3:n vauriomuotojen yksinkertaistetuilla malleilla, on mahdollisuus käyttää $\gamma_{FE} = 1.0$
- Yleisen validointiprosessin kautta; $\gamma_{FE} \geq 1.0$

$$R_{pl,k} = \frac{R_{MNA}}{\gamma_{FE}} \quad \text{or} \quad R_{pl,k} = \frac{R_{GMNA}}{\gamma_{FE}}$$

$$R_{b,k} = \frac{R_{GMNA}}{\gamma_{FE}}$$

$$\gamma_{FE} = \frac{1}{m_X \cdot (1 - k_n \cdot V_X)} \geq 1,0$$

$R_{k,known}$ is the calculated or known characteristic structural resistance,
 $R_{test,known}$ is the known test result,
 R_{check} is the computed resistance for the check structural resistance case.

m_X is the mean value of the ratio of the measured (or known) and computed results for n samples,

k_n is the characteristic fractile factor according to EN 1990:2023, Annex D, Table D.1 (data row corresponding to V_X unknown should be used),

V_X is the coefficient of variation of the ratio of the measured (or known) and computed results for n samples.

EN 1993-1-14 + CEN/TR 1993-1-141

FE-analyysien
luokittelu

Verifiointi ja
validointi

FE-mallinnus

Materiaalimallit

Alkuhäiriöt

Suunnitteluarvo

Väsyminen

- Suunnitteluarvon määrittäminen; Numerical design calculations → Direct resistance check (ULS)

$$R_{pl,k} = \frac{R_{MNA}}{\gamma_{FE}} \quad \text{or} \quad R_{pl,k} = \frac{R_{GMNA}}{\gamma_{FE}}$$

$$R_{b,k} = \frac{R_{GMNA}}{\gamma_{FE}}$$

- Karakteristinen arvo suoraan FE-mallin kapasiteetista jakamalla γ_{FE} :llä
- Suunnitteluarvo (esim. $R_{pl,d}$) jakamalla karakteristinen arvo kyseiseen vauriomuotoon liittyvillä osavarmuuksilla (EN 1993 kaikki osat + FI NA)
- Kuorirakenteiden suunnitteluarvon määrittämisen erityissäännöt jatkossakin EN 1993-1-6

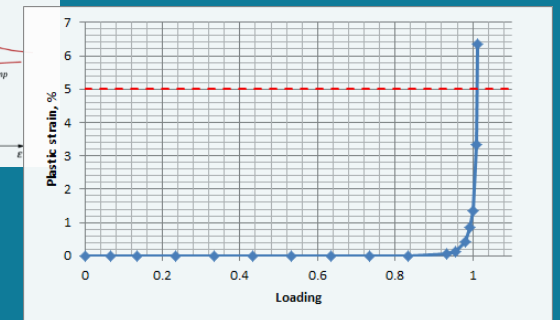
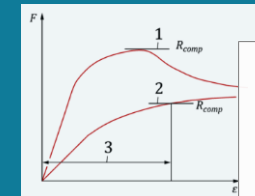
- Kun numeerinen malli on verifioitu ja validoitu EC3:n vauriomuotojen yksinkertaistetuilla malleilla, on mahdollisuus käyttää $\gamma_{FE} = 1.0$
- Yleisen validointiprosessin kautta; $\gamma_{FE} \geq 1.0$

$$\gamma_{FE} = \frac{1}{m_X \cdot (1 - k_N \cdot V_X)} \geq 1,0$$

$R_{k,known}$ is the calculated or known characteristic structural resistance,
 $R_{test,known}$ is the known test result,
 R_{check} is the computed resistance for the check structural resistance case.

- Kriteerit epälineaarissa FE-analyysissä

- C1: Saavutetun kuormitustason maksimi
- C1: Plastinen venymän kriteeri ylitetään
 - 5% raja on suositusarvo, jos vauriomuodolle ei ole erikseen määritetty rajaa
 - Palkkielementtien plastiselle venymälle oma ohje standardissa; Annex C
 - Ruuveille, jotka mallinnettu jousina, annettu oma taulukko, ϵ_{max} (2 – 5 %)
 - Kuorirakenteiden venymäkriteerit EN 1993-1-6



Numeeristen menetelmien ohjeistaminen alumiiniosissa EC9 (2.gen)

Tulossa **opastava liite** ohjeistamaan FE-analyysimallissa käytettäviä periaatteita **EC9 mukaisessa suunnittelussa**

EN 1999-1-1 new Annex B (informative): "Finite Element Methods of analysis (FEM)" (5 s.)

- FEM:n soveltamisen lisäohjeet EC9-osien mukaisessa staattisessa mitoituksessa (ULS)
- Liite sisältyy Formal Votessa 2022-11 hyväksytyyn EN 1999-1-1 (2.gen)
- Samantyylinen opastava liite FE-analyysimallin oletusten valintaan kuin nykyisen EC3:n EN 1993-1-5 Liite C
 - Mallinnus yleisellä tasolla
 - "Reunaehdot ja kuormitukset tulee mallintaa siten, että saadut tulokset ovat mitoituksellisesti konservatiivisia"

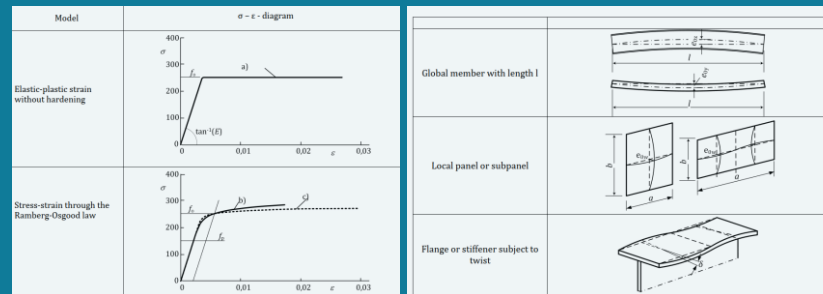
- Materiaalimallit

- Alkuhäiriöt

- Globaalit
- Lokaalit

- Kriteerit ja varmuustaso

- Venymäkriteerit taulukoitu eri alumiinimateriaaleille (1 % - 14 %)
- HAZ alueen venymäkriteeri puolet materiaalikohtaisesta arvosta



B.9 Limit state criteria

(1) The ultimate limit state criteria should be used as follows:

- for structures susceptible to buckling: attainment of the maximum load.
- for regions subjected to tensile stresses: attainment of a limiting value of the principal membrane strain.

(2) A limiting principal strain $\epsilon_{0,uni} = A_{uni}$ according to Tables B.3 or Table B.4 may be used. For HAZ and welds 50 % of the values in the table should be used, unless determined by tests. (For $\epsilon_{0,uni}$ see F.3.2.3(4)b).

$$\alpha_u > \alpha_1 \alpha_2$$

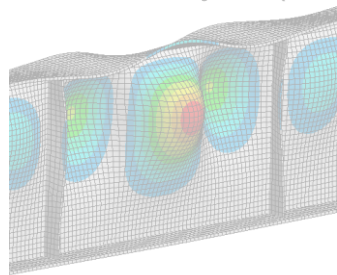
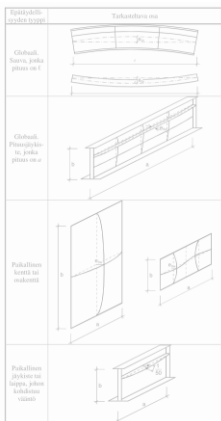
α_1 to cover the model uncertainty of the FE-modelling used. It should be obtained from evaluations of test based calibrations, see Annex D of prEN 1990:2021;

γ_{M1} and γ_{M2} as specified in the relevant parts of EN 1999 should be used.

Numeeristen menetelmien ohjeistaminen Eurokoodeissa (2. gen)

Nykyisin käytössä oleva Eurokoodi

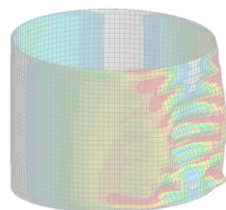
- EN 1993-1-5 Annex C (informative) "Finite Element Methods of analysis (FEM)" (4 s.)



Taulukko C.2 Ekvivalentit geometriset epätäydellisydet

Epätäydellisyden tyyppi	Tarkasteltava osa	Muoto	Suoritus
Globaali	Sarve, jonka pituus on r	Kaareva	Ks. standardin EN 1993-1-1 taulukko 5.1
Globaali	Pituusjännite, jonka pituus on a	Kaareva	Pienempi arvoista (a/400, 2a/800)
Paikallinen	Levykentti tai osakentti, jonka lyhyempi jänne on a tai b	Lommuksista vastaava muoto	Pienempi arvoista (a/200, b/200)
Paikallinen	Jäykiste tai loppu, johon kohdistuu väänne	Kiertyvästi kaareva	1 / 50

- EN 1993-1-6 "Strength and Stability of Shell Structures" (Design by global numerical analysis (MNA, LBA, GMNIA)) (12 s.)
- EN 1999-1-5 "Shell structures" (Design by numerical analysis) (~2 s.)



METSTA

Toisen sukupolven Eurokoodi

- EN 1990 new Annex (informative): "Design assisted by numerical methods" (19 s.)
- EN 1991-1-4 new Annex (informative): "Guidance on derivation of design parameters from wind tunnel tests and numerical simulations" (22 s.)
- EN 1992-1-1 new Annex (informative): "Safety formats for non-linear analysis" (5 s.)
- EN 1993-1-6 (Design by computational analysis (MNA, LBA, GMNIA)) (14 s.)
- EN 1993-1-14: "Design assisted by finite element analysis" (60 s.)
+ CEN/TR 1993-1-141 "Background and Explanations on EN 1993-1-14" (174 s.)
- EN 1999-1-1 new Annex B (informative): "Finite Element Methods of analysis (FEM)" (5 s.)
- EN 1999-1-5 (Design by numerical analysis) (~2 s.)

+ Mahdollisesti myös muissa uusissa EC-osissa ohjeita, tai tulossa ohjeistuksia

Kiitos

Ville Laine

ville.laine@ains.fi

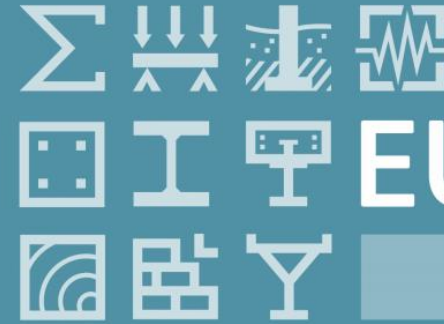
+358 50 322 2281

www.ains.fi

www.metsta.fi

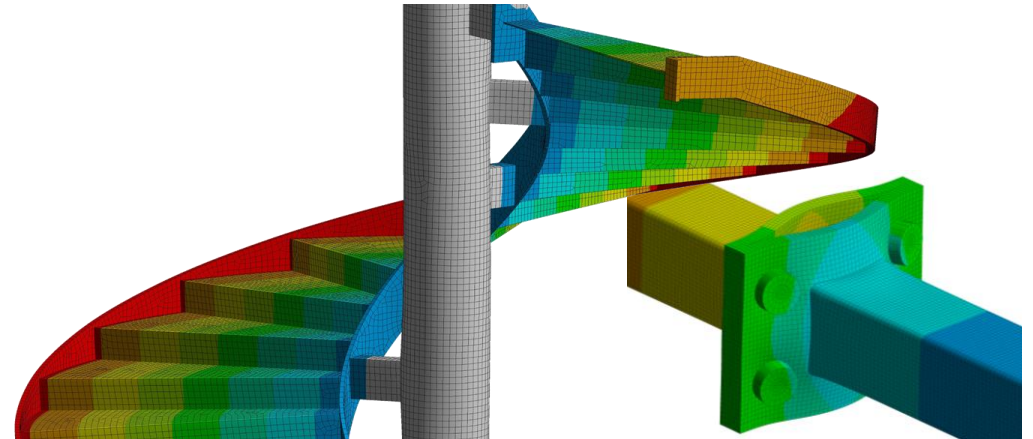
METSTA

Metsta/SR 103: EC3 ja EC9



EUROCODES

AINS: Teknisen laskennan palvelut



AINS: Tutkimus ja tuotekehitys (digitaalinen laboratorio)

