



Introduksjon til EN 1993-1-14

*«Sammen lager vi gode
løsninger som gir varige
verdier»*

Om meg

- Prosjektingeniør i Aas-Jakobsen (datterselskap av Norconsult)
- Førsteamanuensis II ved OsloMet 2021-2025
- Kursholder i Norsk Stålforbund (knutepunkter og FEM)
- Komiteleder i norsk komité for stål og samvirkekonstruksjoner
 - Speiler Eurokode 3 og 4, samt utførelsesstandarder
 - Utarbeider norske produkter (f.eks. NA)
- Medlem europeisk arbeidsgruppe for Eurokode for knutepunkter (EN 1993-1-8)

Innhold

- Overordnet
- Definisjoner
- Litt om innhold i EN 1993-1-14
- Avsluttende kommentarer

Overordnet

EN 1993 (Prosjektering av stålkonstruksjoner)

Del	Emne
1-1	Allmenne regler og regler for bygninger
1-2	Brannteknisk dimensjonering
1-3	Konstruksjoner av kaldformede tynnplateprofiler
1-4	Konstruksjoner av rustfritt stål
1-5	Plater påkjent i planet
1-6	Skallkonstruksjoner
1-7	Plater påkjent normalt på plateplanet
1-8	Knutepunkter og forbindelser
1-9	Utmattingspåkjente konstruksjoner
1-10	Materialets bruddseighet og egenskaper i tykkelsesretningen
1-11	Kabler og strekkstag
1-12	Konstruksjoner med høyfast stål
1-13	Regler for bjelker med store åpninger i steget
1-14	Prosjektering vha. FEM

Del	Emne
2	Bruer
3	Tårn, master og skorsteiner
4-1	Siloer
4-2	Tanker
5	Peler og spunt
6	Kraner
7	Platekonstruksjoner med elementer under tverrbelastning

Nye deler

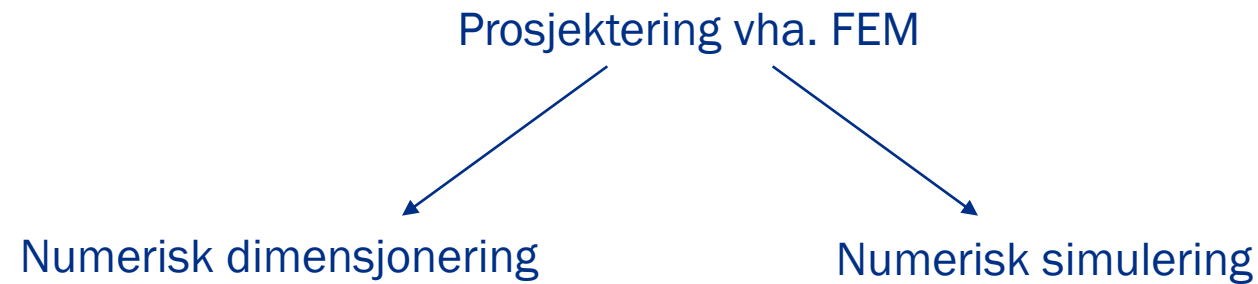
Om EN 1993-1-14

- Forskning/utvikling presset frem et behov for egen standard innen FEM
- EN 1993-1-14 gir regler og retningslinjer for bruk av FEM i prosjektering
- Samler regler for bruk av FEM til alle delene (nesten)
- Tilrettelegger for bruk av FEM til dimensjonering (ikke bare analyse)

Definisjoner

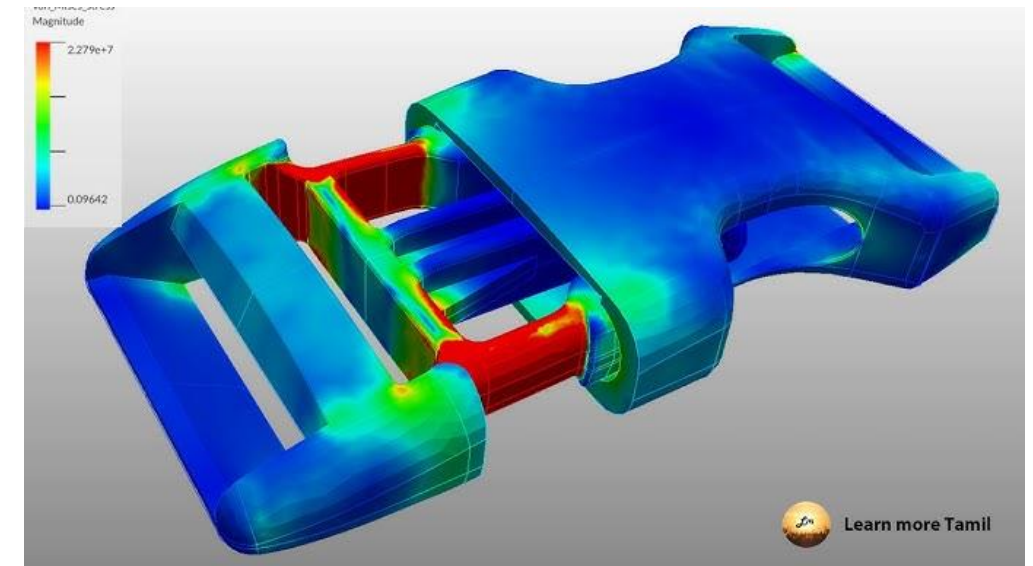
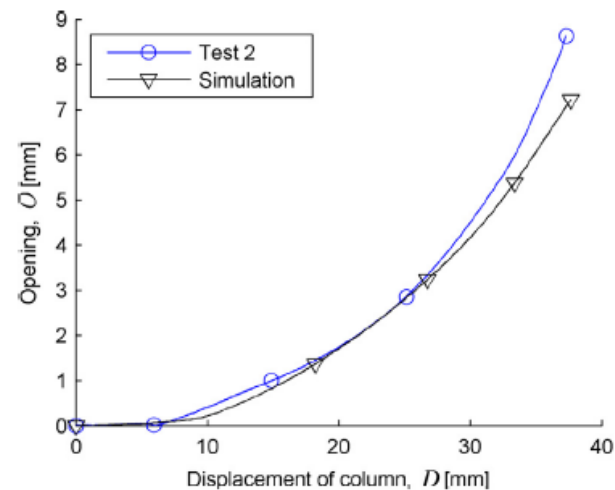
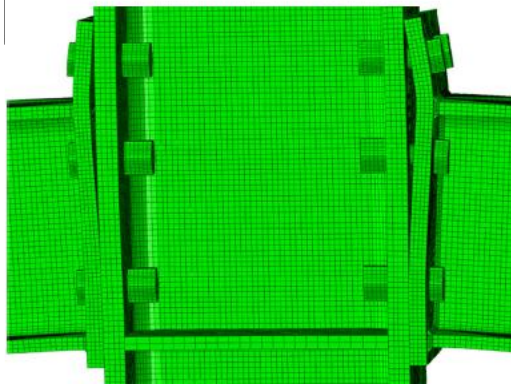
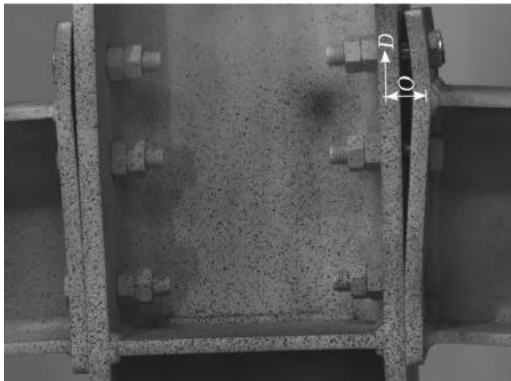
Numerisk dimensjonering vs. numerisk simulering

- Defineres to grunnleggende metoder



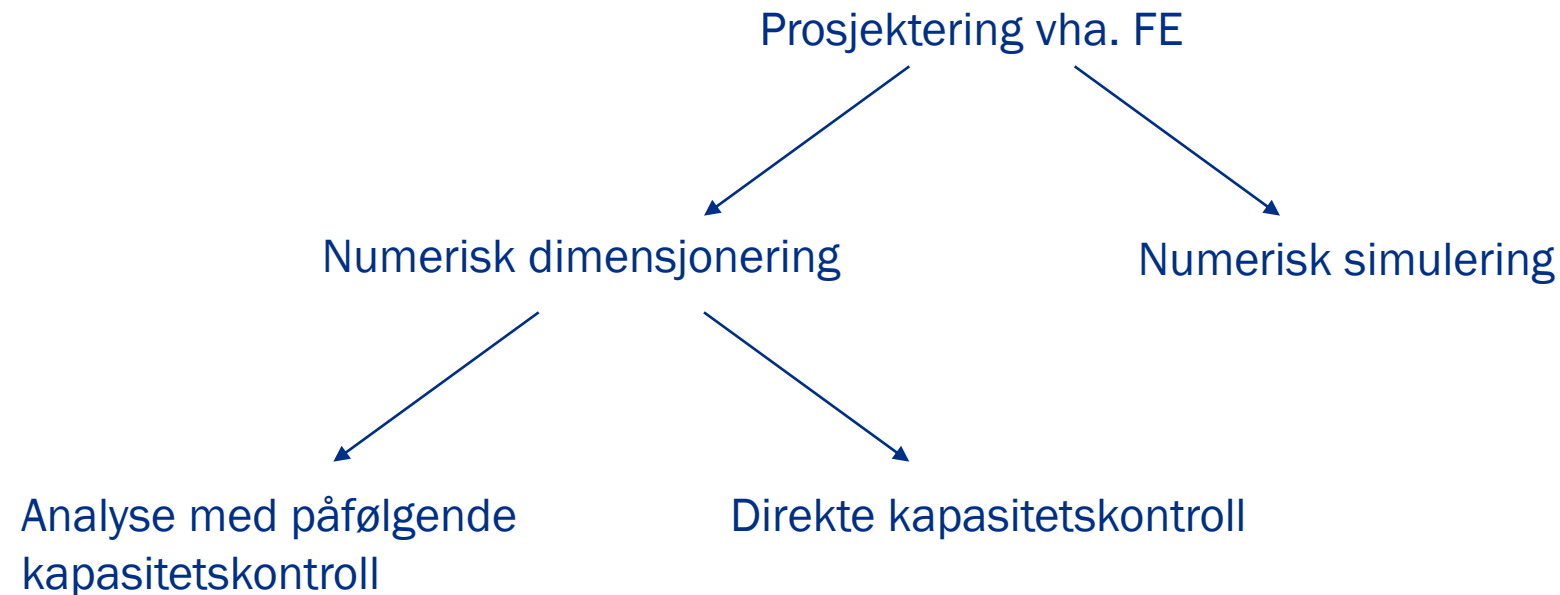
Numerisk simulering

- Benyttet mest i forskning og utvikling. Eksempelvis:
 - Gjenskape laboratorieforsøk
 - Utvikle produkter/komponenter



Numerisk dimensjonering (forts.)

- Numerisk dimensjonering kan deles inn i to metodikker



Analyse med påfølgende kapasitetskontroll

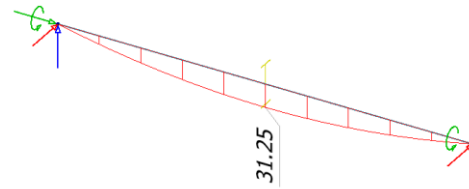
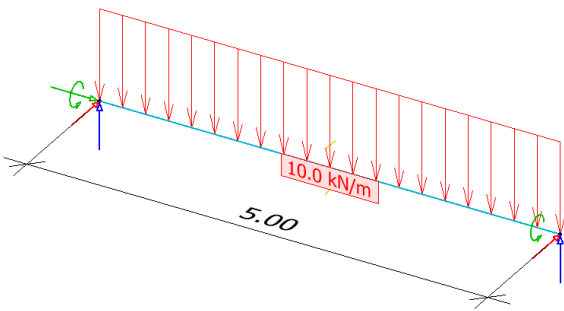
- FE-analyse gir dimensjonerende lastvirkninger
- Kontroll av kapasiteter utføres separat vha. formler i Eurokodene
- Ofte gjør programvare begge deler

Modell

Analyse

For eksempel
momentdiagram

Kapasitetskontroll



Lateral torsional buckling, top flange - Part 1-1: 6.3.2.2

LC: 'Jevnt fordelt last', $x = 2500$ mm

Class_N = 2, Class_{M1} = 1, Class_{M2} = 1

$$N_{cr,LT} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k_z \cdot L_{cr})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2.100e+05 \cdot 2.137e+07}{(1.00 \cdot 5000)^2} = 1772.06 \text{ kN}$$

Loaded on top edge.

$$Z = (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_l) = (0.45 \cdot 250 - 0.52 \cdot 0) = 112.50 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot N_{cr,LT} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{G \cdot I_t}{N_{cr,LT}} + Z^2 \right]^{0.5} - Z \right\} =$$

$$= 1.13 \cdot 1.772e+06 \cdot \left\{ \left[\left(\frac{1.00}{1.00} \right)^2 \cdot \frac{1.249e+12}{2.137e+07} + \frac{8.077e+04 \cdot 6.988e+05}{1.772e+06} + 112.50^2 \right]^{0.5} - 112.50 \right\} =$$

$$= 417.15 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2107310 \cdot 355}{4.171e+08}} = 1.34$$

$\alpha_{LT} = 0.76$ (Buckling curve: d)

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$= 0.5 \left[1 + 0.76 \cdot (1.34 - 0.2) + 1.34^2 \right] = 1.83$$

$$X_{LT} = \min \left(\frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, 1.0 \right) = \min \left(\frac{1}{1.83 + \sqrt{1.83^2 - 1.34^2}}, 1.0 \right) = 0.33 \quad (6.56)$$

$$M_{y,b,Rd} = \frac{X_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.33 \cdot 2107310 \cdot 355}{1.05} = 231.61 \text{ kNm} \quad (6.55)$$

$$\frac{M_{1,Ed}}{M_{y,b,Rd}} = \frac{31.25}{231.61} = 0.13 \leq 1.00 \quad (6.54) - \text{OK}$$

Husk til senere

Direkte kapasitetskontroll

- Analyse med påfølgendekapasitetskontroll: analyse gir krefter og formler gir kapasitet
- Dette er absolutt mest vanlig dimensjonerings-metodikk i dag
- Direkte kapasitetskontroll: kapasiteten hentes direkte ut fra analysen
- EN 1993-1-14 er mest relevant for direkte kapasitetskontroll

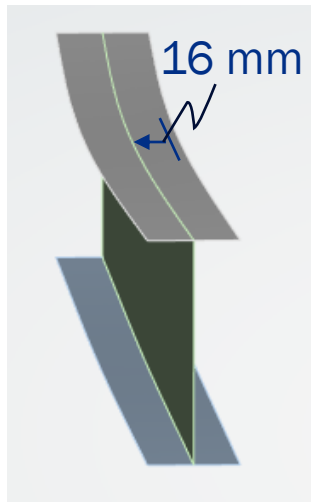
Eksempel direkte kapasitetskontroll

Ta utgangspunkt i samme problem som på slide 11, men finn kapasiteten vha. avansert analyse

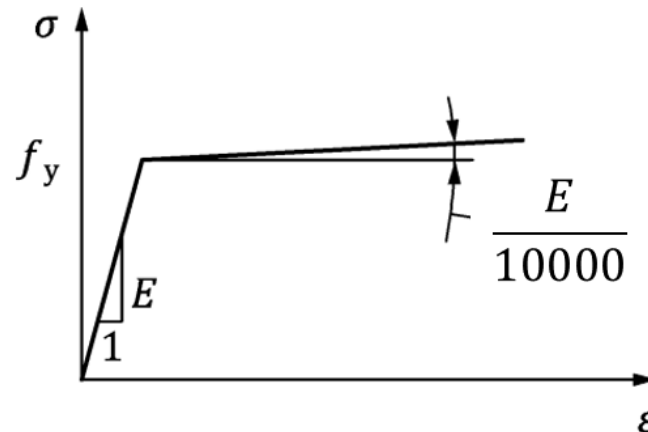
Prosedyre (lærer om dette i kurset)

- Legger inn 16 mm formfeil i overflens
- Legger inn bilineært materiale
- Kjører ikke-lineær analyse

Analysert geometri

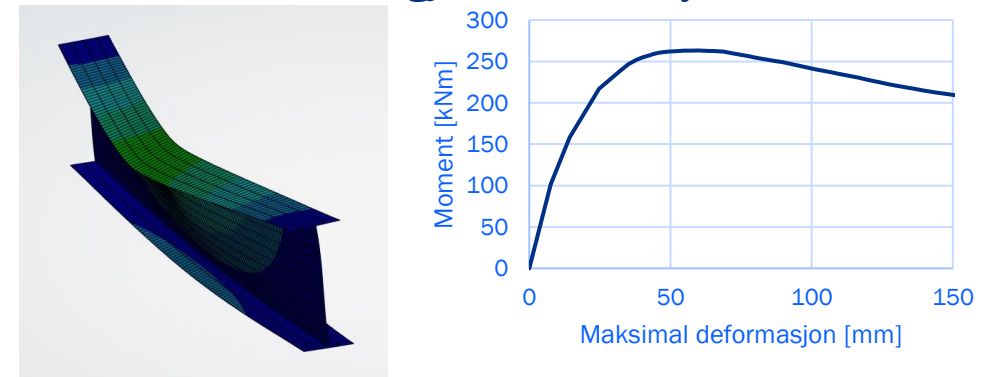


Materialmodell ($f_y = 355 \text{ MPa}$)



Resultater

Moment i midtsnitt gjennom analysen:



Maksimalt moment gir karakteristisk kapasitet $M_{Rk} \approx 263 \text{ kNm}$

Dimensjonerende kapasiteten blir da

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{263 \text{ kNm}}{1,05} \approx 250 \text{ kNm}$$

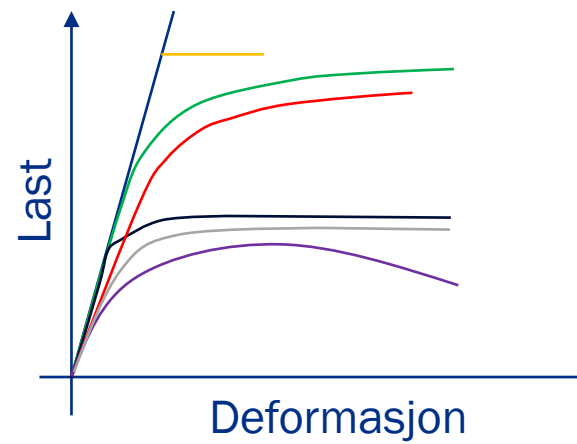
8% større enn full håndberegning (slide 11)

Litt om innhold

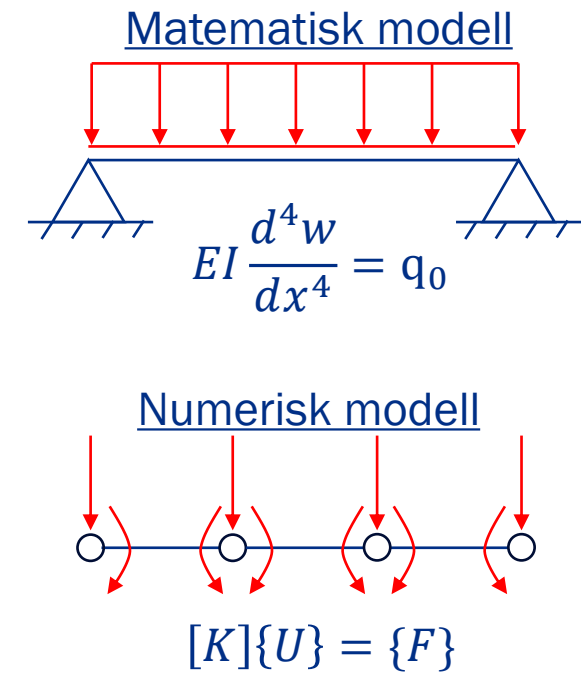
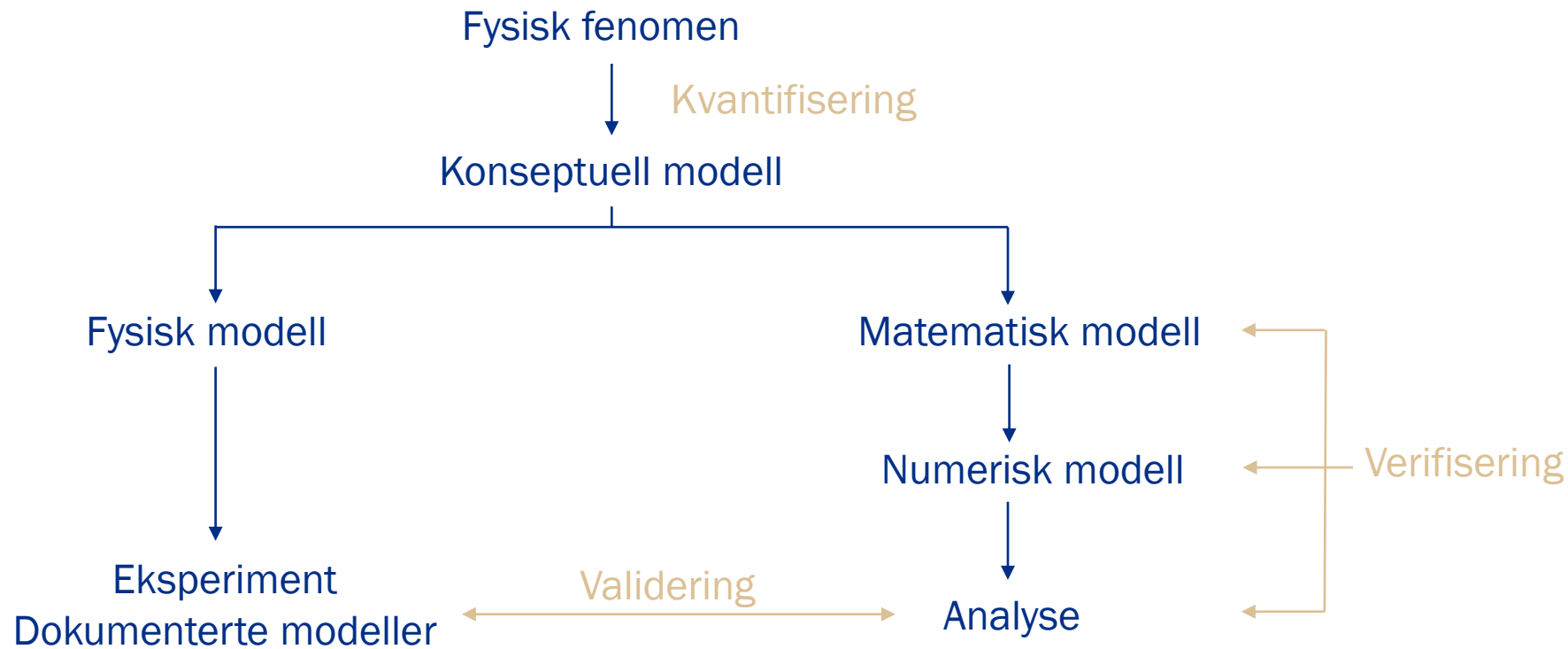
Analyse

“Perfekt” =
ingen formfeil

Type analyse	Forkort.	Deformasjoner	Materiallov	Geometri
Lineær elastisk	LA	Lineær	Lineær elastisk	Perfekt
Lineær elastisk egenverdi	LBA	Eigenmoder	Lineær elastisk	Perfekt
Materielt ikke-lineær	MNA	Lineær	Ikke-lineær	Perfekt
Geometrisk ikke-lineær	GNA	Ikke-lineær	Lineær elastisk	Perfekt
Geometrisk og materielt ikke-lineær	GMNA	Ikke-lineær	Ikke-lineær	Perfekt
Geometrisk ikke-lineær med imperfeksjoner	GNIA	Ikke-lineær	Lineær elastisk	Imperfekt
Geometrisk og materielt ikke-lineær med imperfeksjoner	GMNIA	Ikke-lineær	Ikke-lineær	Imperfekt



Verifikasjon og validering



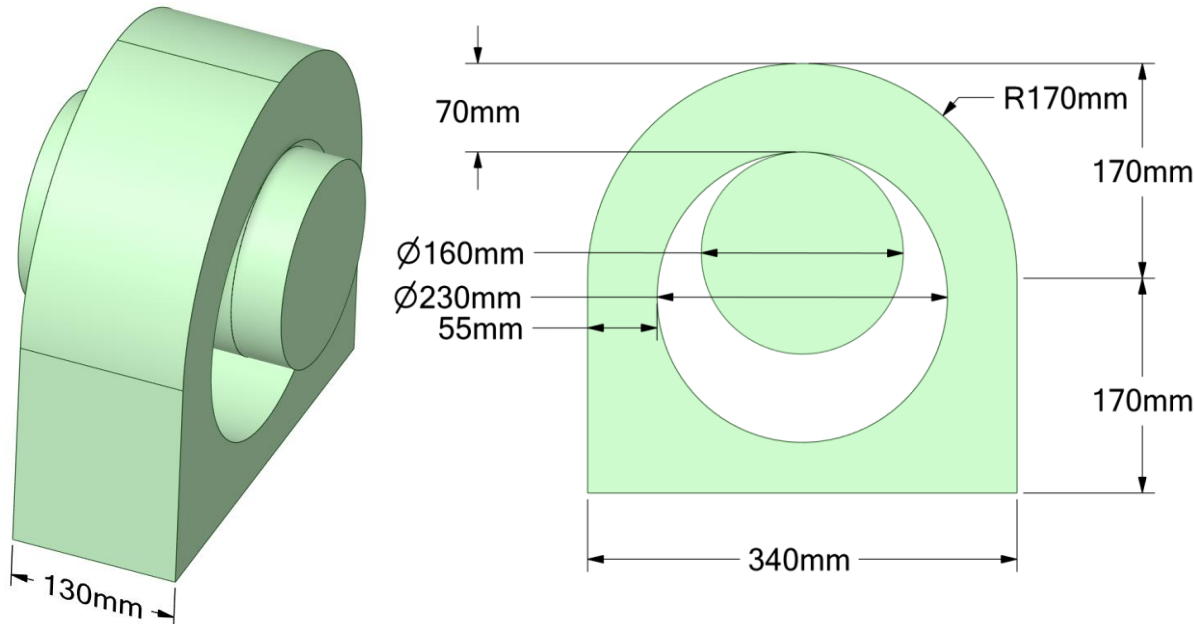
Øvrig innhold

- Regler/retningslinjer for
 - Modellering (f.eks. imperfeksjoner)
 - Ulike grensetilstander (ULS, SLS, FLS)
 - Dokumentasjon ifm. FE-analyser
 - Beregning av partialfaktor for FE-analyser, γ_{FE}
 - Håndtering av spenningskonsentrasjoner

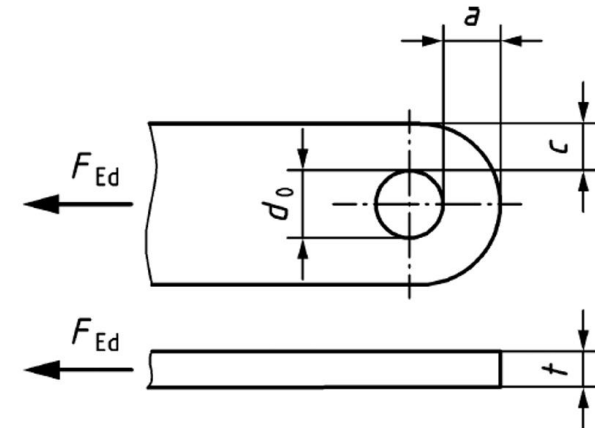
Eksempel: dimensjonering løfteøre

Utfordring fra kursdeltaker: løfteøret deres tilfredsstiller ikke krav iht. EN 1993-1-8, og kunden krever dimensjonering iht. Eurokode

Ønsket geometri på løfteøre



Geometrikrav i EN 1993-1-8



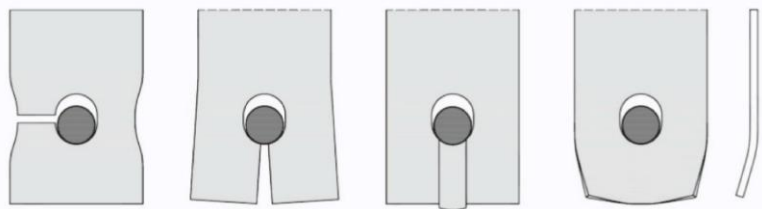
$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} \approx 168 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3} \approx 91 \text{ mm}$$

Eksempel: dimensjonering løfteøre (forts.)

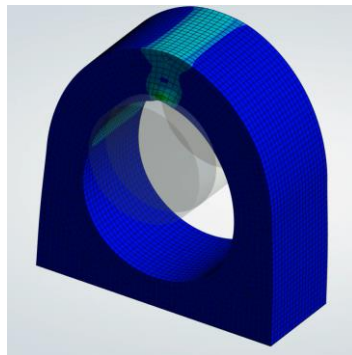
Argumenter for å benytte FEM her:

- 1) Ingen veiledning for å finne kapasiteten hvis geometrikravene ikke er tilfredsstillt
- 2) Geometrikravene er basert på tester med mindre hullklaring



Conde et al. 2023

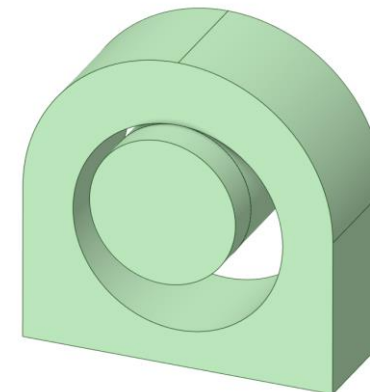
Plastisk tøyning



Konklusjon:

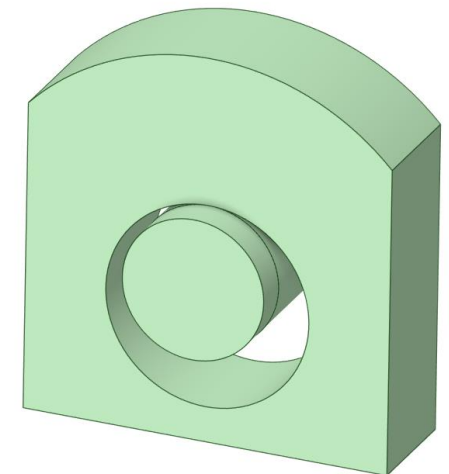
- Med FEM kunne nok kapasitet dokumenteres, og da iht. Eurokode
- Sparte 67 kg stål per løfteøre

Opprinnelig løfteøre



63 kg

Løfteøre iht. EC3-1-8



130 kg

Avsluttende kommentarer

Avsluttende kommentarer

- Standarden gir mindre terskel for å benytte FEM til direkte dimensjonering
- Inneholder enkelte krav som kan være vanskelig å overholde i praksis
- EN 1993-1-14 er ny og dermed uprøvd standard
- Blir interessant å se hvor mye standarden blir tatt i bruk