

## Kursus i CLT

### Statiske forhold ved værd af CLT

Jacob Etrup Petersen



MARTS 2020



MARTS 2020

SIDE 2



1

2

### Dæk - spænd

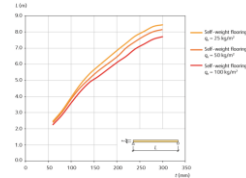
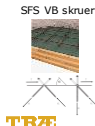
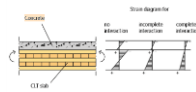


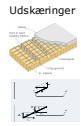
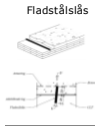
Figure 2.4 The figures are for a floor structure with a span of  $l$  and a thickness of  $h$  in metres (left), with a grade of characteristic load of  $75 \text{ kg/m}^2$ . Characteristic moment  $M_{k1}$  and a load of  $100 \text{ mm}$  and fundamental frequency of  $10$ . The self-weight of flooring and flooring is a total of  $75 \text{ kg}$  and  $100 \text{ kg/m}^2$  has been included. Since the non-redundant beam is designed under the design independent of safety class, the span of the beam has been taken as  $l$ .

### Dæk - træ-beton hybrid

- Spænd: 6-12m (ekstra tiltag for spænd over ca. 9m)
- Fordele: Masse => mindre forankring og hjælper akustik
- Overslag på samlet højde af dæk:  $h_{\text{overslag}} = \frac{L}{25}$
- Betonlag:  $h_{\text{beton}} = h_{\text{overslag}} \cdot 0,4 = 0,016 \cdot L$
- Trædæk (massivtræ):  $h_{\text{træ}} = h_{\text{overslag}} \cdot 0,6 = 0,024 \cdot L$
- Typiske samlinger mellem træ og beton



MARTS 2020

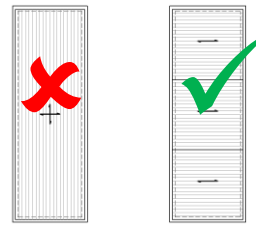


SIDE 3



### Plader - spændretninger?

I de fleste tilfælde med større spænd gælder:

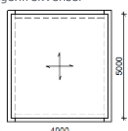
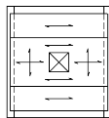
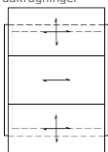


3

4

### Plader - spændretninger?

- Ved udkragede sider - Lasterne kan føres ind til den bærende konstruktion via pladen ved mindre udkragninger
- Ved mindre huller - Lasterne kan føres rundt om mindre huller vha. pladens bæreevne i begge retninger
- Ved mindre spænd i b.r. - Ved mindre spænd i begge retninger, kan det udnyttes, at pladen kan bære last i 2 retninger
- Egenfrekvenser



SIDE 5



### Plader - spændretninger?



MARTS 2020



MARTS 2020

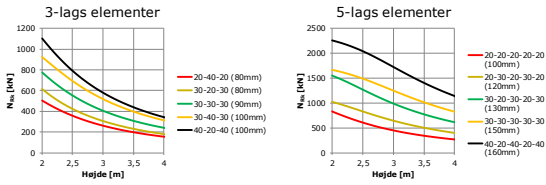
SIDE 6



5

6

3- og 5-lags vægelementer – bæreevnediagrammer, kar. last



- Regningsmæssige laster medtages ved at multiplicere lasten med faktoren:

$$N_{Ed} \leq k_{mod} \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_M} \Leftrightarrow N_{Rk} \geq \gamma_M \cdot N_{Ed} = \frac{1,3 \cdot N_{Ed}}{k_{mod}}$$



MARTS 2020

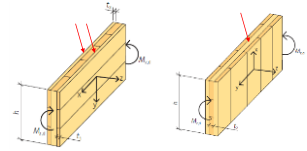
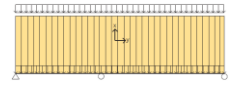
SIDE 7



7

Vægge som høje bjælker

- Vægge kan anvendes som høje bjælker
- Langsgående lag bærer i bøjning
- Forskydning optages af hele skive
- Vinduesplacering svækker tværsnit voldsomt og skal derfor tænkes ind i designet.



MARTS 2020

SIDE 8



8

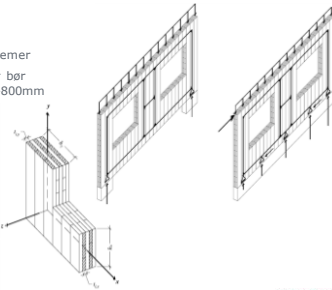
Vægge med åbninger

- Kan modelleres som rammesystemer
  - Højden af de enkelte stænger bør ikke sættes til mere end 400-600mm

$$A_{x,net} = h_x \cdot \sum t_{lx} \quad A_{y,net} = h_y \cdot \sum t_{ly}$$

$$W_{x,net} = \frac{h_x^3}{6} \cdot \sum t_{lx} \quad W_{y,net} = \frac{h_y^3}{6} \cdot \sum t_{ly}$$

$$I_{x,net} = \frac{h_x^3}{12} \cdot \sum t_{lx} \quad I_{y,net} = \frac{h_y^3}{12} \cdot \sum t_{ly}$$



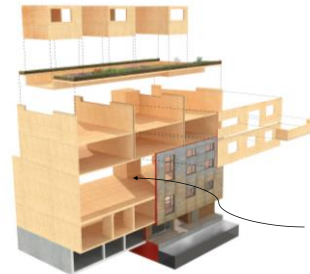
MARTS 2020

SIDE 9



9

Vægge som høje bjælker



Whitmore Road, 2012

Dobbelthøjt rum uden søjler



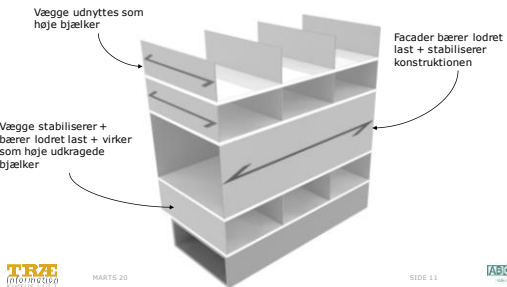
MARTS 2020

SIDE 10



10

Vægge som høje bjælker



MARTS 20

SIDE 11



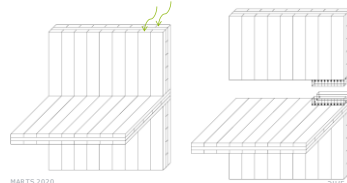
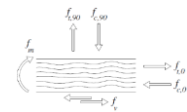
11

Tryk på sidetræ

- Krav til trykspænding:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,d}}{A} \leq f_{c,90,d}$$

A = Trykbelastet areal. Der medtages kun lodrette lag!!



MARTS 2020

SIDE 14

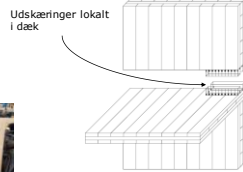


12

Tryk på sidetræ, løsninger



TRZE informatica KURSUS T CLT MARTS 2020

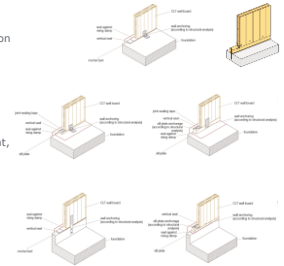


SIDE 13 ABSCLAUSEN

13

Fastgørelse til fundament

- Bør aldrig være direkte kontakt mellem CLT og beton => Bør altid udføres med en fugtspærre
- Løsninger
  - Mørtelpude
  - Bundrem
  - Betonkant
- Ved mindre laster: Bundrem fastgøres til fundament, CLT-element fastgøres til bundrem / væg fastgøres med vinkelbeslag
- Ellers: Forankring udenom bundkant til fundament
- Vær opmærksom på:
  - Min. kantafstande - både i CLT-element og bundrem
  - Påvirkning af beslag skal overholde producentgodkendelse



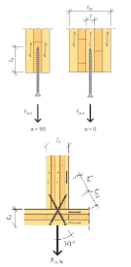
TRZE informatica KURSUS T CLT MARTS 2020

SIDE 14 ABSCLAUSEN

14

Træk samlinger

- Ved træpåkvikede skrue:
  - Det skal sikres, at skruer rammer i tværgående lameller
  - Der er usikkerhed om langtidsstyrke ved træk i fiberretningen (skruer i langsgående lamel)
  - Medmindre det kan sikres, at skrueerne er forankret i tværgående lameller anbefales det, at udføre træksamlinger med skrårskrue



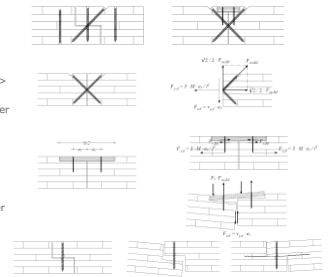
SIDE 15 ABSCLAUSEN

TRZE informatica KURSUS T CLT MARTS 2020

15

Dæksamlinger

- Samling med skrårskrue
  - ✓ Laster fra moment optages som træk => stivere samling
  - ✓ Velegnet til at optage differensbevægelser
  - ✗ Udførsel / læthed
- Samling med topplade
  - ✓ Udførsel / læthed
  - ✗ Moment optages som forskydning => mindre stiv
  - ✗ Mere følsom overfor differensbevægelser
- Samling med udskæring
  - ✓ Udførsel / læthed
  - ✗ Moment optages som forskydning => mindre stiv
  - ✗ Risiko for flækning ved små tværsnit



TRZE informatica KURSUS T CLT MARTS 2020

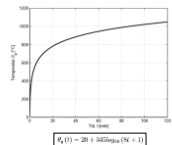
SIDE 16 ABSCLAUSEN

16

Brand

- BR 18:
  - § 300 Brandmodstandstiden for bærende bygningsdele bestemmes enten ved standardbrandprøvelse eller ved anvendelse af et naturligt brandforløb, som beskrevet i Eurocode 1: Laster på bærende konstruktioner - Del 1-2: Generelle laster - Brandlast og DSDEN 1991-1-2: EN 1991-1-2: National Annex til Eurocode 1: Laster på bygningsdele - Del 1-2: Generelle laster - Brandlast
  - § 301 Anvendelse af naturligt brandforløb i stedet for § 300, skal det dokumenteres, at konstruktionen kan modstå det fulde brandforløb.

Standardbrandkurven, ISO 834 (tænkt forløb)

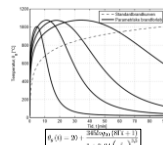


$$T_a(t) = 20 + 345 \log_{10}(t + 1)$$

TRZE informatica KURSUS T CLT MARTS 2020

17

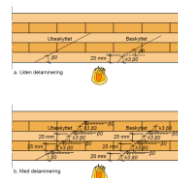
Parametriske (naturlige) brandforløb



$$T_a(t) = 20 + 120 \log_{10}(t + 1) + 10 \left( \frac{t}{60} \right)^2$$

SIDE 17 ABSCLAUSEN

Brand



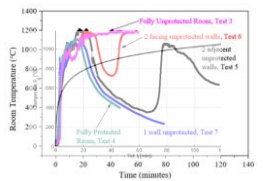
TRZE informatica KURSUS T CLT MARTS 2020

SIDE 18 ABSCLAUSEN

18

Brand

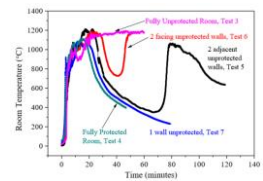
- "Real-scale fire tests on massive timber constructions"
- Fuldt beskyttede rum (dvs. alt er beklædt med gips) bevirker en brand tilsvarende den parametriske
- Rum med én beskyttet væg giver en brand tilsvarende den parametriske
- Rum med 2 ubeskyttede vægge giver en risiko for en ekstra overtænding i afkølingsfasen
- Udbeskyttede rum giver en "uendelig brand", som er kraftigere end standardbranden



Kilde: Xiao Li, et al., REAL-SCALE FIRE TESTS ON TIMBER CONSTRUCTIONS, WCTE 2016

Brand

- CLT konstruktioner giver risiko for delaminering => vi skal medtage dette i dimensioneringen
- Beskyttede CLT-konstruktioner kan typisk designes som en standardbrand tilsvarende beton- og stålkonstruktioner
- Helt blottagte CLT-konstruktioner er "no go" i højere bygninger!
- CLT-konstruktioner med 2 eller flere blottede vægge er "no go" i højere bygninger!
- CLT-konstruktioner med én blottet væg kan godt udføres, men dette kræver ekstra omhu i projekteringen



Kilde: Xiao Li, et al., REAL-SCALE FIRE TESTS ON TIMBER CONSTRUCTIONS, WCTE 2016

Robusthed?

- Ronan Point
  - Dimensioneret iht. gældende normer
  - Gasekspllosion i hjørne på 18. etage => de bærende betonelementer blev blæst ud
  - Resultat: overliggende etager styrtede sammen
  - Følgevirkning: kædereaktion af kollaps, så hele hjemsesektionen til sidst var styrtet sammen
  - Konsekvens af ulykke var derfor voldsomt stort i forhold til den oprindelige ulykke (kvinde i rum med gasekspllosion overlevede, men 4 personer omkom ved det efterfølgende kollaps)



SIDE 21 ABSOLAUSEN

Robusthed

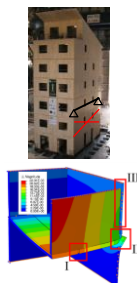
- Sikres ved at skabe sammenhæng, så laster kan omfordres ved bortfald af elementer
- Bjælke/søjle systemer med CLT-dæk kan sikres ved
  - at udføre trækbånd (fx fladstål) i bunden af dækkene
  - at indføre kontinuerlige bjælker, som kan overtage last
- Acceptere mindre bortfald af elementer (maks. 2 etager, maks. 15% af etageareal, maks. 240m² pr etage, eller 360m² i alt)
- Indføre nøgleelementer med større sikkerhed (generelt en uskik)



SIDE 22 ABSOLAUSEN

Robusthed

- CLT-byggerier
  - Robusthed kan ofte opnås ved at tænke vægge som høje bjælker
  - Mange vægge, typisk let at omfordele laster
  - Stiller krav til samlinger!
  - N.B.: Vær opmærksom på, at simuleringer indikerer, at der er risiko for, at vægge skubbes ud, dvs. der kræves flere understøtninger, modhold fra andre vægge eller lign.



SIDE 23 ABSOLAUSEN

Overflader

- Synlige overflader på CLT-elementer
  - Vær opmærksom på svindrevner
  - Er elementerne ikke kantlimede => svindrevner opstår ved det sted, hvor brædder mødes
  - Ved kantlimede elementer => svindrevner opstår, hvor træet er svagest
  - Svindrevner har ikke indflydelse på bæreevne – er rent æstetisk
  - Ønskes homogen overflade, dvs. med kantlimning:
    - Vigtigt at have styr på fugtstrategi
    - Der skal specificeres en træfugt på 8% med en lille tolerance (helst ±1%, men ikke over ±2%)
    - CLT leveres normalt med træfugt på 12-14%



SIDE 24 ABSOLAUSEN

**Jacob Ettrup Petersen**  
Kompetencechef, Træ

E: jet@abc.dk  
D: 2843 6453



MARTS 2020

SIDE 25

