

Træbyggeri med CLT

Fugttechnik og deformationer i etagebyggeri



foto Kasper Kristensen



foto: Ted Kesik / Rosemary Martin

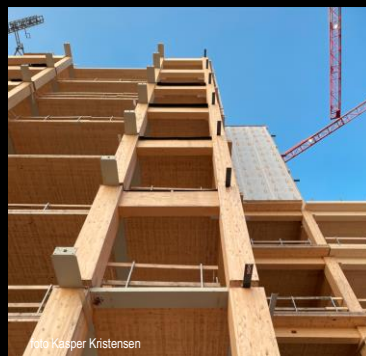


foto Kasper Kristensen

Kursus d. 26. - 27. februar 2025

1

Træinformation Kasper Kristensen

TRÆ

1

Træbyggeri med CLT

Fugttechnik og deformationer i etagebyggeri



foto Kasper Kristensen



foto Kasper Kristensen



foto Kasper Kristensen

Kursus d. 26. - 27. februar 2025

2

Træinformation Kasper Kristensen

TRÆ

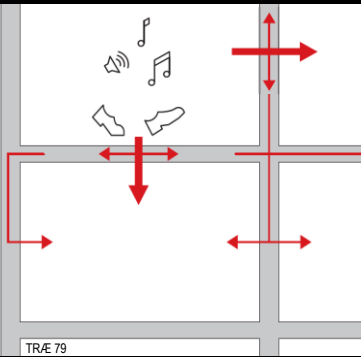
2

1. Fugtkrav
2. Måling af træfugt
3. Fugttransport og udtørring
4. Fugtdeformationer og dimensionsændringer

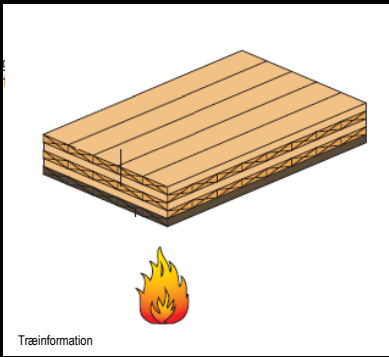
Træinformation

TRÆ

3



TRÆ 79



Træinformation



foto Kasper Kristensen

Akustik

Brand

Fugt

Træinformation

TRÆ

4

4

AKUSTIK

Designstrategi for overholdelse af BR krav til lydisolering, herunder flanketransmission gennem konstruktioner

BRAND

Designstrategi for brandsikkerhed, herunder hvilke overflader er brandbeskyttet og hvilke er eksponeret træ?

FUGT

Fugtstrategi for tørholdelse i byggefasen og i byggeriets levetid, herunder dimensionsændringer og tæthed af samlinger

Tidlige faser !

Træinformation

TRÆ

5

5

Fugthåndtering



foto: Mikael Koch

CLT-byggeri adskiller sig fra betonbyggeri og træskeletbyggeri

- Tørre og massive trævolumener
- Eksponerede træoverflade

Træinformation

TRÆ

6

6

Fugthåndtering

Idé og disposition Projektering Udførelse Ibrugtagning

Bygningsudformning og
fugttekniske løsninger

Fugtstrategi

Beskyttende foran-
staltninger og udtørring

Fugtmåling og fugt-
teknisk dokumentation

TRÆ 80

7

Træinformation

TRÆ

7

Fugthåndtering



foto Kasper Kristensen

- ✓ Hvordan vil jeg holde træet tørt ?
- ✓ Er der sat tilstrækkelig tid af til udtørring ?
- ✓ Kan detaljer optage fugtdeformationer ?

8

Træinformation

TRÆ

8

Fugtkrav

Træinformation

TRÆ

10

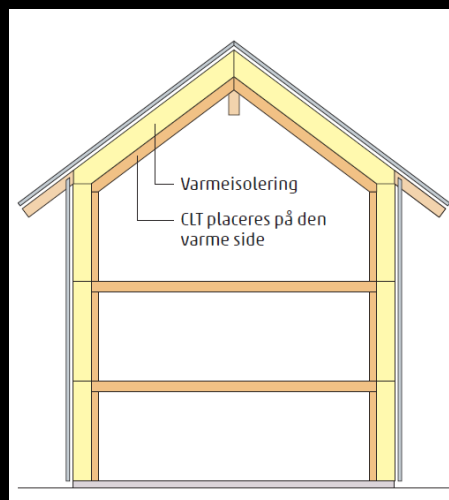
Anvendelse af CLT

- CLT kan anvendes, hvor det kan "holdes tørt", dvs. i anvendelsesklasse 1 og 2
- CLT er normalt ikke egnet til brug i anvendelsesklasse 3

Tabel 4.1: Anvendelsesklasser og fugtforhold for trækonstruktioner iht. Eurocode 5 og tilhørende dansk nationalt annek. 1

Anvendelsesklasse 1	Indendørs tørre forhold, hvor den relative luftfugtighed sjældent overstiger 65 % svarende til et fugtindhold i almindeligt konstruktionsstrø omkring 12 %. Fx konstruktioner i opvarmede bygninger, herunder boliger, kontorer og forretninger, hvor der ikke sker opfugtning af konstruktionerne.
Anvendelsesklasse 2	Klimaforhold, hvor den relative luftfugtighed sjældent overstiger 85 %, og hvor fugtindholdet i almindeligt konstruktionsstrø ikke overstiger 20 %. Fx konstruktioner i ventilerede, ikke-permanent opvarmede bygninger, herunder fritidshuse, uopvarmede garager og lagerbygninger, samt ventilerede konstruktioner beskyttet mod nedbør fx ventilerede tagkonstruktioner.
Anvendelsesklasse 3	Klimaforhold, der kan føre til højere fugtindhold end i anvendelsesklasse 2. Fx konstruktioner i fugtige rum eller konstruktioner udsat for nedbør eller vand i øvrigt.

RF < 85 %



TRÆ 80

12

Træinformation

TRÆ

12

Fugtkrav

- BR18

§ 334 - § 338 Fugt

- | | |
|-------|--|
| § 334 | Bygninger skal projekteres, udføres og vedligeholdes, så vand og fugt ikke medfører risiko for personers sundhed eller skader på bygningen. |
| § 336 | Bygningskonstruktioner og –materialer må ikke have et fugtindhold, der ved indflytning medfører risiko for vækst af skimmelsvamp. |
| 1.2. | Det skal sikres, at konstruktionerne ved indbygning ikke har et fugtindhold, der medfører risiko for vækst af skimmelsvamp. Ligeledes skal det sikres, at konstruktionerne ikke opfugtes i byggefasen eller at der indbygges materialer med synlig skimmelvækst. |

13

Træinformation



13

Fugtkrav

- BR18 vejledning

Ifølge BR18 (Vejledning til kapitel 7, Byggepladsen og udførelsen af byggearbejder, § 161 - § 165) kan fugtfølsomme materialer fx beskyttes ved:

- "... at der anvendes hensigtsmæssig opbevaring på byggepladsen, hensigtsmæssig kvalitetssikringsprocedure, totalinddækning under opførelsen, og at der i tidsplaner afsættes tid til den nødvendige udtørring af byggematerialer."

14

Træinformation



14

Fugtkrav

- DS/EN 1995-1-1, Eurocode 5: Trækonstruktioner

10 Udførelse og kontrol

10.2 Materialer

(2) Træ og træbaserede bygningsdele må ikke unødigt udsættes for klimatiske forhold, der er værre end dem, der forventes i den færdige konstruktion.

(3) Før indbygningen bør træet tørres, således at dets fugtindhold så nøje som muligt svarer til de klimatiske betingelser i den færdige konstruktion.

Træinformation

TRÆ

15

15

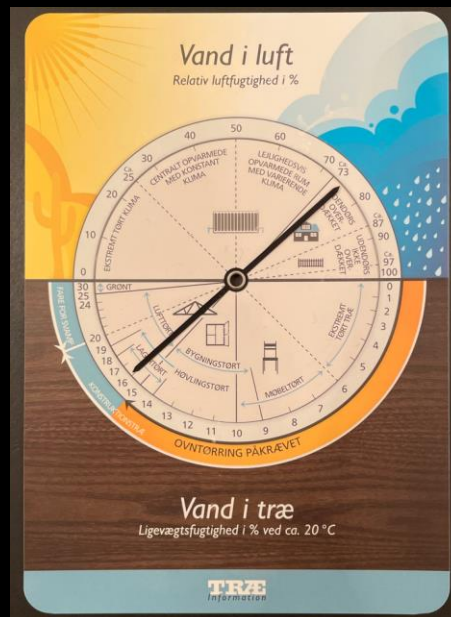
Forebyggelse af skimmelvækst

Træfugtindhold $< 16\% \sim 75\% \text{ RF}$

Tid, temperatur, fugtighed iht. SBI-277

Vådt CLT må ikke lukkes inde!

Træ til husbygning bør holdes tørt for at minimere risikoen for vækst af skimmelsvamp og trænedbrydende svampe.



Træinformation

TRÆ

17

17

Anbefalet maksimalt træfugtindhold i CLT

Tabel 4.2 Anbefalet maksimalt træfugtindhold i CLT ved anvendelse i bygningskonstruktioner.
Træfugtindhold (vægt- %) ved 20 °C.

Anvendelsesområde	Træfugtindhold
Træfugtindhold i CLT ved levering I henhold til DS/EN 16351 er referencefugtindholdet 12 %, hvilket svarer til højst forventelige træfugtindhold for konstruktioner i opvarmede rum.	$12 \pm 2 \%$
Træfugtindhold i CLT ved opbevaring og indbygning Af hensyn til forebyggelse af skimmelvækst, fx ved montage af isolering eller udvendig beklædninger. Fugtgrænsen svarer til træets fugtligevægt ved 75 % relativ luftfugtighed.	$\leq 16 \%$
Træfugtindhold i CLT ved montage af indvendige beklædninger i opvarmede bygninger Af hensyn til begrænsning af svindrevner i indvendige overflader relateret til CLT-elementets udtørring efter ibrugtagning af bygningen.	$\leq 12 \%$

Iht. TRÆ 80, SBI-anvisning 277, DS/EN 16351 og DS/EN 1995-1-1

18

Træinformation

TRÆ

18

Fugt i byggefasen



foto: Ted Kesik / Rosemary Martin



foto: Mikael Koch

20

Træinformation

TRÆ

20

Fugt i byggefasen



21

Træinformation

TRÆ

21

Beskyt endetræ – suger meget vand, hurtigt



- Beskyt endetræ mod våde flader
- Undgå fugtskjolder

22

Træinformation

TRÆ

22

Beskyt endetræ



foto: Mikael Koch

- Beskyt endetræ mod våde flader
- Undgå fugtskjolder

23

Træinformation

TRÆ

23

Beskyt endetræ



foto: Kasper Kristensen

- Beskyt elementkanter mod nedbør
- Minimerer svindrevner, reparationer og utætheder

24

Træinformation

TRÆ

24

Endetræ suger meget vand

Forsøg

Ingen forsegling



Forsegling med specialtape



bmtrada
Proud to be part of 

25

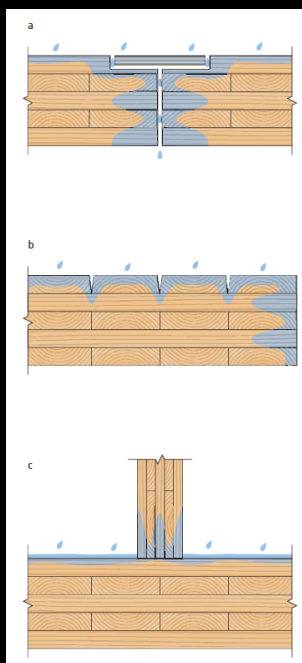
Træinformation

TRÆ

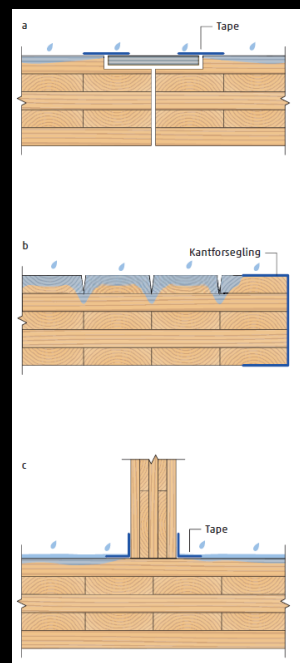
25

Beskyt endetræ

Undgå fugtfælder
i samlinger



TRÆ 80



26

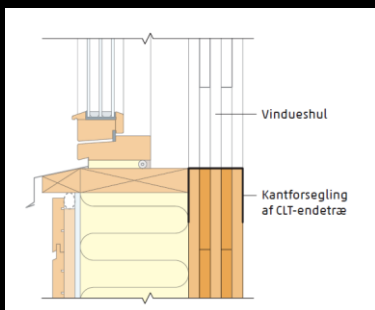
Træinformation

TRÆ

26

Kantforsegling

- CLT-elementer kan leveres med kantforsegling



TRÆ 80



Foto Peter Larsen

27

Træinformation

TRÆ

27

Opklodsning på fugtspærre, gerne på hævet sokkel



Foto Kasper Kristensen



Foto Kasper Kristensen

28

Træinformation

TRÆ

28

Opklodsning på fugtspærre, gerne på hævet sokkel



29

Træinformation

TRÆ

29

Måling af træfugt

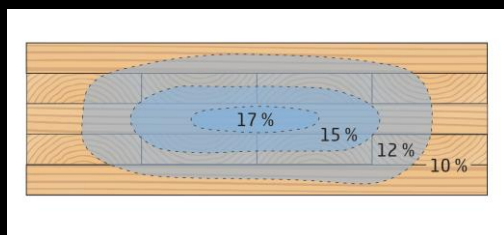
Træinformation

TRÆ

30

Måling af træfugt

- Træfugt varierer
- Fugtindholdet kontrolleres både på overfladen og ca. 40 mm inde i træet
- Evt. forbore de første 20 mm



TRÆ 80



Foto BM TRADA

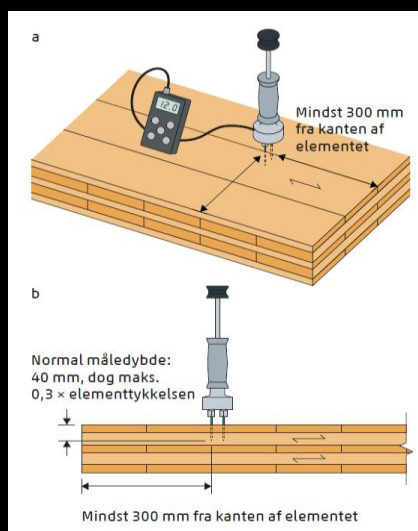
31

Træinformation

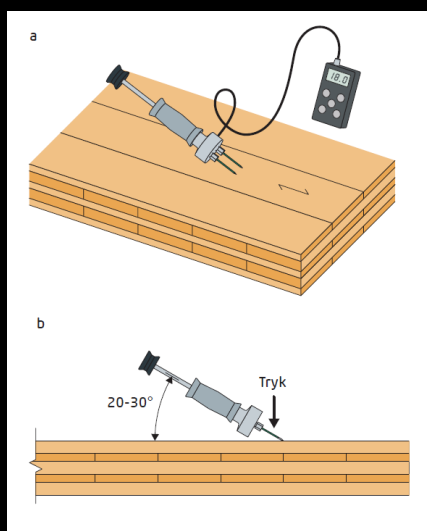
TRÆ

31

Måling af gennemsnits fugtindhold



Måling af overflade fugtindhold



TRÆ 80

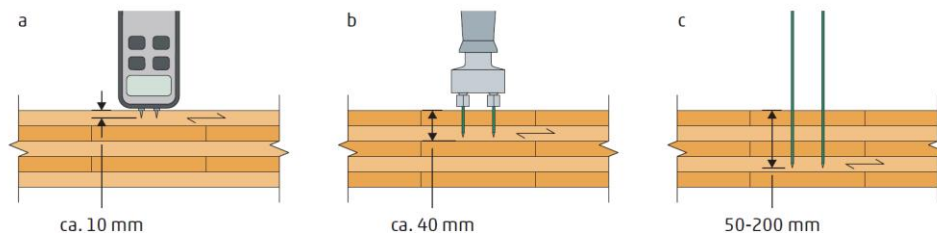
32

Træinformation

TRÆ

32

Fugtmåling i forskellige dybder



Figur 4.7 Måledybder med forskellige fugtmålere. a. Indstiksmåler med uisolerede elektroder, måledybde ca. 10 mm b. Indstiksmåler med hammerhåndtag og isolerede elektroder, måledybde op til ca. 40 mm c. Lange isolerede elektroder monteret ved forboring, måledybde fx 50-200 mm.

33

Træinformation

TRÆ

33

Fugtmålemetoder

Elektrisk modstandsmåler (DS/EN 13183-2, DS/EN 14080)

- Indstiksmåler med hammerhåndtag og isolerede elektroder:



SBI-anvisning 277

- Nøjagtighed ca. $\pm 2\%$ fugtindhold
- På begge sider af elementet, og mindst 3 steder
- Temperatur registreres

34

Træinformation

TRÆ

34

Fugtovervågning

Indbyggede fugtmålere

- Træfugt, RF, Temperatur, kablet eller trådløs forbindelse



Foto SBI-anvisning 277



Foto Kasper Kristensen

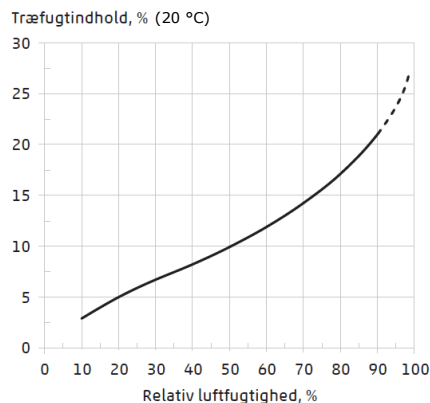
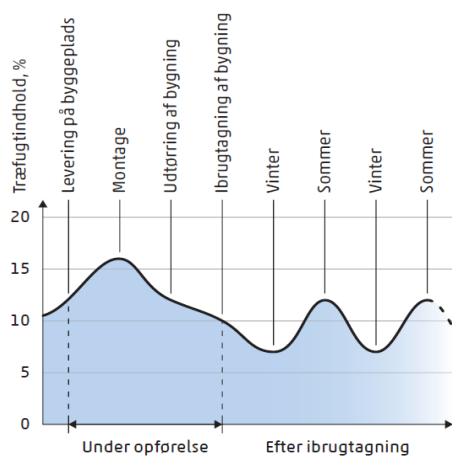
Træinformation

TRÆ

35

35

Variation i træfugtindhold over tid



TRÆ 80

Træinformation

TRÆ

37

37

Fugtteknisk dokumentation

- Fugtmåleprogram iht. fugtstrategi:

Modtagekontrol
Udførelseskontrol
Mellemlagring
Slutkontrol

- ✓ Har der været kritisk høje fugtniveauer?
- ✓ Dokumentation af udbedringer/udtørring
- ✓ Er træet tørt ved overlevering, og hvad er planen for at holde det tørt?



Træinformation

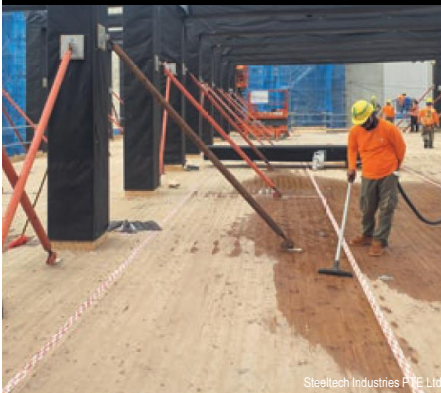
TRÆ

38

38

Fugtberedskab

Team, der rykker ud i regnvejr,
når andre rykker ind i skuret



Træinformation

TRÆ

39

Fugtberedskab

- Skybrudssikring (sommer risiko størst)
- Kontrol og vedligehold af beskyttende foranstaltninger og plan for svigt
- Bortledning af regnvand
- Planlægning af arbejde iht. vejrudsigt
- Fugtalarmer



Foto Kasper Kristensen

Træinformation

TRÆ

40

40

Udtørring

Træinformation

TRÆ

41

Sæt tid af udtørring

Opfugtning er hurtig → udtørring sker kun langsomt

Træinformation

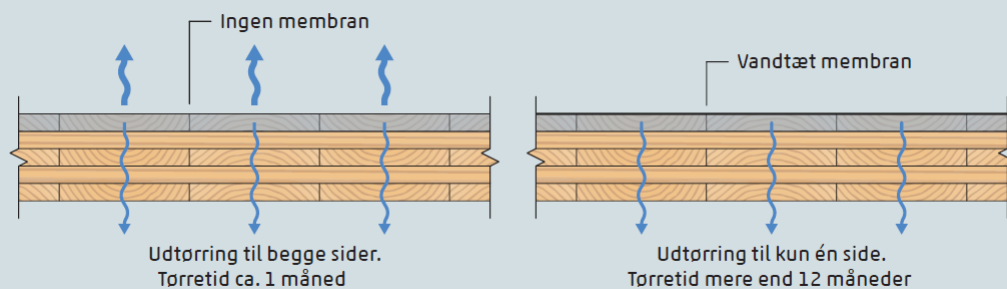
TRÆ

42

42

Eksempel

Udtørring af opfugtet CLT-element uden / med membran



100 mm, 5 lags element

Udtørring af øverste lamel fra 35 % til 20 % træfugtindhold

Cross-laminated timber and moisture, Research summary, BM TRADA

Træinformation

TRÆ

43

43

Krav til udtørring

CLT skal indbygges, så træet effektivt kan afgive fugt

- CLT må ikke lukkes inde mellem diffusionstætte membraner, beklædninger, isolering

Udtørring bør ske langsomt og kontrolleret

- Anvend sorptionsaffugtere og moderat opvarmning af bygningen.
- Ved temp < 10 grC (vinter) kan anvendes naturlig ventilation og moderat opvarmning af bygningen
- Anvend ikke for høje temperaturer af hensyn til risiko for skimmel- og revnedannelser.

, se TRÆ 80 side 232

Træinformation



44

44

Fugtbetingede dimensionsændringer

Træinformation



46

Fugtbetingede dimensionsændringer

Træ er hygroskopisk og anisotropisk



foto Kasper Kristensen

Træinformation

TRÆ

47

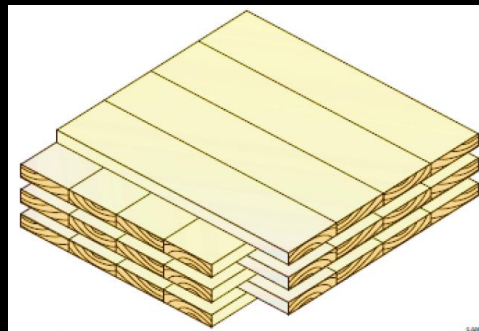
47

Fugtbetingede dimensionsændringer

Krydsende lameller reducerer fugtbevægelser

Men udtørring giver fortsat:

- Revner i overflade
(æstetik og tæthed af element)
- Svind og udvidelse af hele elementet
(æstetik og tæthed i samlinger)



Træinformation

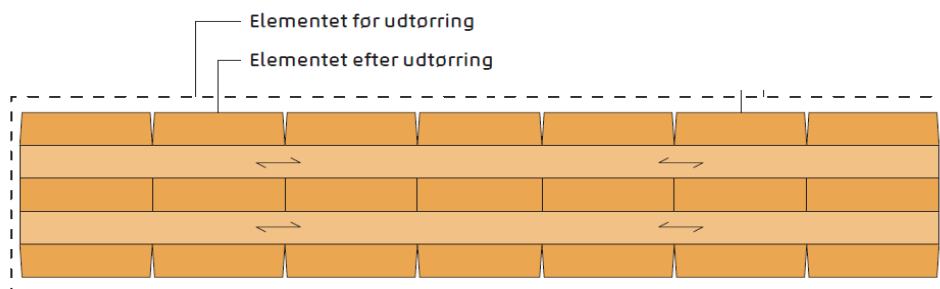
TRÆ

48

48

Fugtbetingede dimensionsændringer

- Bevæger sig ved ændring i fugtindhold



TRÆ 80

- Et 5 m langt CLT-element kan blive ca. 5 mm kortere efter indbygning og udtørring fra 12 – 7 % træfugt

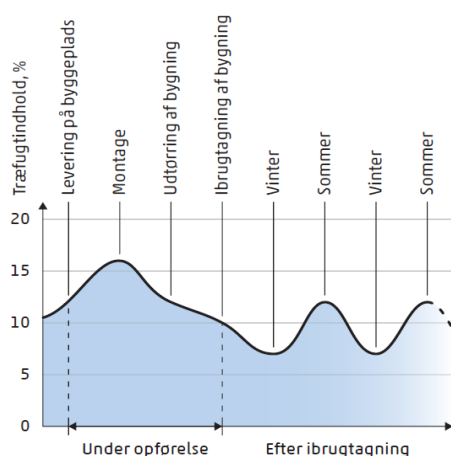
50

Træinformation

TRÆ

50

Fugtbetingede dimensionsændringer



TRÆ 80

- Vinter / sommer ca. 5 % ændring i træfugtindhold
- Udvidelse og svind følger opfugtning og udtørring i byggefasen og årsvariation i relativ luftfugtighed

51

Træinformation

TRÆ

51

Fugtbetingede dimensionsændringer

Typisk værdier ved 1 % ændring i træfugtindhold

Tabel 4.3 Typiske værdier for CLT-elementers dimensionsændringer ved ændring i træfugtindhold. Værdier er baseret på 3-lagselementer iht. Eurocodeforslag - del 1-1.

CLT-elementets længde og bredde

Dimensionsændring i længderetning: (x-retning, parallelt med yderlameller)	0,2 mm/m	pr. 1 % ændring i træfugtindhold
---	----------	----------------------------------

Dimensionsændring i bredderetning: (y-retning, vinkelret på yderlameller)	0,4 mm/m	pr. 1 % ændring i træfugtindhold
--	----------	----------------------------------

CLT-elementets tykkelse

Dimensionsændring i tykkelse: (z-retning, tykkelsesretning)	2,4 mm/m	pr. 1 % ændring i træfugtindhold
--	----------	----------------------------------

TRÆ 80

52

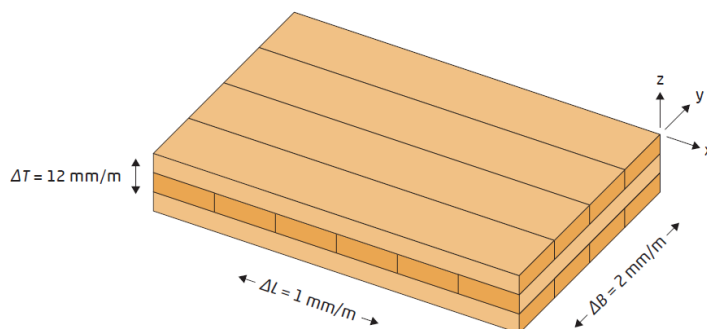
Træinformation



52

Dimensionsændring af CLT-elementer

pr. m ved 5 % ændring i fugtindhold:



- Et 5 m langt element kan efter indbygning og udtørring fra 12 – 7 % træfugt blive ca.:
 $\Delta L \times 5 \text{ m} = 1 \text{ mm/m} \times 5 \text{ m} = 5 \text{ mm}$ kortere

TRÆ 80

53

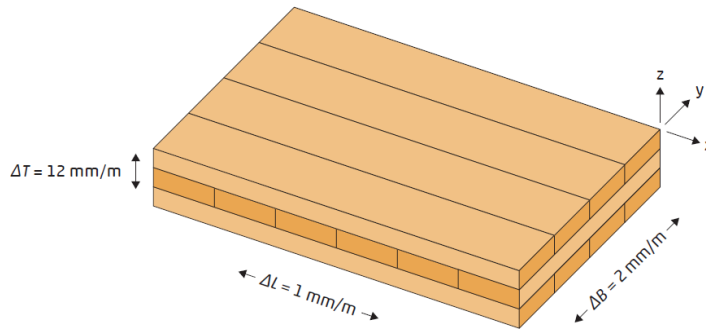
Træinformation



53

Dimensionsændring af CLT-elementer

pr. m ved 5 % ændring i fugtindhold:



- Er elementet 240 mm tykt, kan elementet blive ca.:
 $\Delta T \times 0,24 \text{ m} = 12 \text{ mm/m} \times 0,24 \text{ m} = 3 \text{ mm}$ tyndere.

TRÆ80

54

Træinformation

TRÆ

54

Tørresvind og tæthed af samlinger

- Stiller krav til samlinger forbliver tætte



fotos: Kasper Kristensen

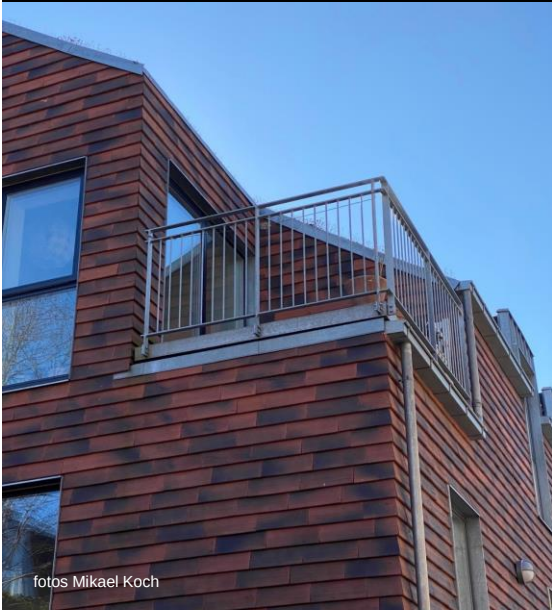


Træinformation

TRÆ

55

Tæthed af facader



Træinformation

TRÆ

56

Lodrette deformationer i etagebyggeri

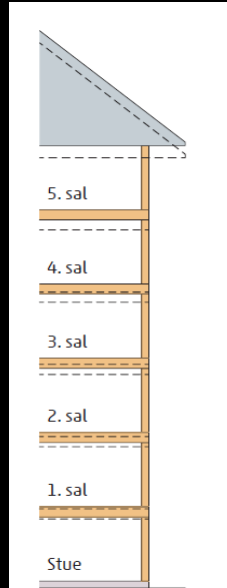
Tæthed, koter, differensbevægelser...

Træinformation

TRÆ

57

Lodrette deformationer



Etagebyggeri i CLT kan typisk "sætte sig" ca. 5 mm pr. etage efter udtørring

Træinformation

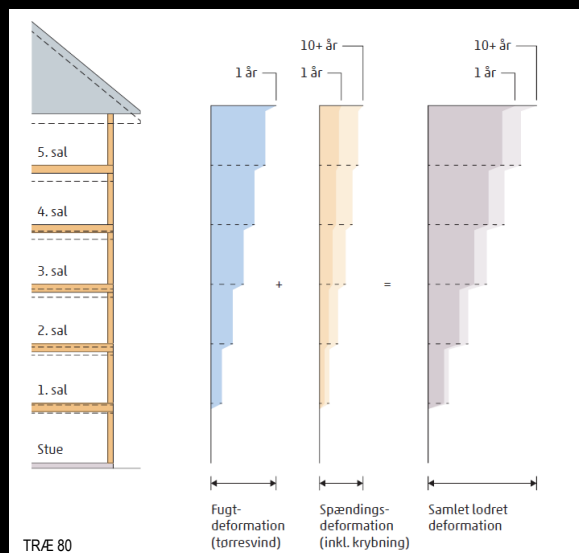
TRÆ

58

58

Lodrette deformationer

Tørresvind + Sammentrykning over tid



- Tørresvind (blå) er typisk dominerende fx ca. 5 mm pr etage
- Statisk sammentrykning (rød) fx ca. 2 mm pr etage

Træinformation

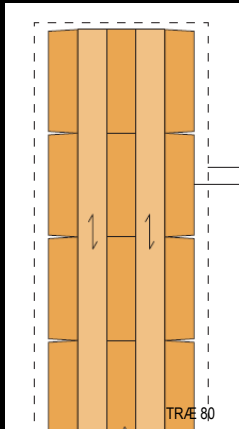
TRÆ

59

59

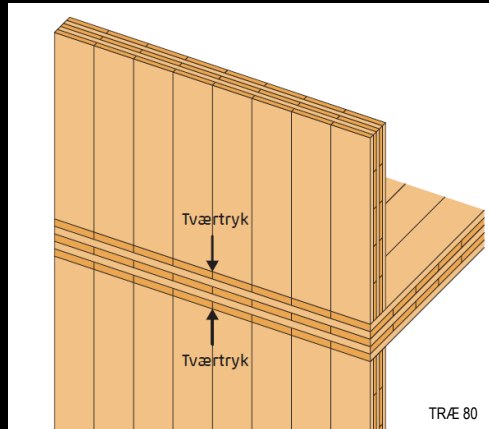
Lodrette deformationer

Tørresvind



+

Statisk sammentrykning



60

Træinformation

TRÆ

60

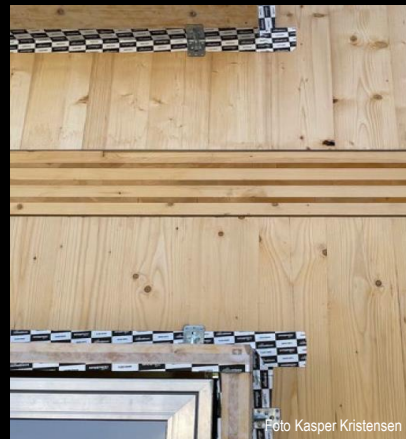
Lodrette deformationer

Tørresvind



+

Statisk sammentrykning



61

Træinformation

TRÆ

61

Eksempel

Lodret tørresvind i 4-etagers CLT-bygning

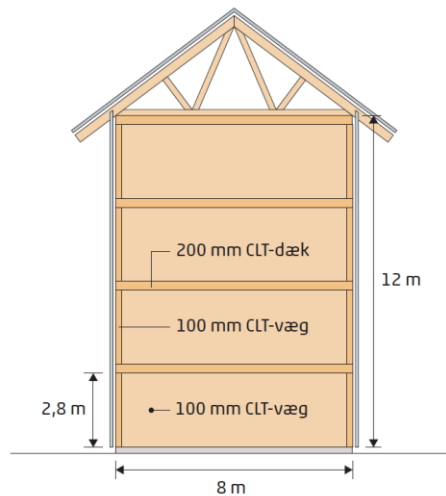
- CLT-elementerne monteres med et træfugtindhold på 12 % og forventes efter ibrugtagning at udtørre til 7 %

- 4-etagers bygning kan blive ca. 20 mm lavere efter udtørring:

$$= (12-7) \times 0,2 \text{ mm/m} \times 2,8 \text{ m} + (12-7) \times 2,4 \text{ mm/m} \times 0,2 \text{ m}$$

$$= (2,8 \text{ mm} + 2,4 \text{ mm}) \times 4 \text{ etager}$$

$$= \text{ca. } 20 \text{ mm}$$



TRÆ 80

Træinformation

TRÆ

62

Tørresvind og detaljer

- Facader og detaljer skal kunne optage bevægelserne



63

Træinformation

TRÆ

63

Deformation og detaljer

- Design med tolerancer ved overgange mellem materialer fx Gulve, facader osv.
- Apterung når træfugt er så lavt som muligt
- Elementer med overhøjde ved høje bygninger



fotos: Kasper Kristensen

64

Træinformation

TRÆ

64

Se mere i TRÆ 80 ...



Deformation

Bygningshøjde

Når trækonstruktioner kombineres med fx betondekne, beton, støbte aluminiumsdele eller en uventet skrum, bør der tages højde for deformationer. Bygningens deformationer har også betydning for tætheden i ydervæge og facader, der skal kunne optage bygningens belastninger, se facader side 54 og Tætte sømninger side 150.

Løst deformation

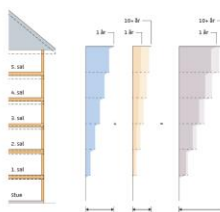
Konstruktionens geometri ændres og dels ved sammentrykning fra bygningens egenskab og etapeklart, dels af træets forsvind ved op-

varmning af bygningen. De to bidrag, hvor forsvindet normalt er det største, giver bygningens samlede lodrette deformation, og bygningens højden vil over tid reduceres, se figur 3.57 og eksempel 3.6.

Sammentrykningen er størst i den nedste etage, men den øverste etage oplever den største nedadrettede bevægelse, da deformationen pr. etage akkumuleres op gennem bygningen.

Fugtdeformationer fra forsvind kan være betydelige og bæreses i vist i fugtbelastede dimensionsskiftninger side 122, se også eksempel 4.4. Trossensindvirkning i spærrede bygninger hovedsageligt ske inden for ca. 1-2 år efter bygningsting.

De spændingsrelaterede deformationer fra statisk påvirkning kan give væsentlige forslag i høje bygninger, men er normalt beskæftede for lave bygninger. Deformationen består af den sammentrykning, som umiddelbart sker, når CLT-elementerne stables, og en længdedeformation (dygtning), der sker over tid, se beregning af CLT-konstruktioner.



Figur 3.57: Deformation af etagebygning. Dimensioner og belastninger som vist på den øverste etage. Kilde: Jørn Rasmussen (2019) [12].

106 MONSTRUM TRÆ 80

værmning af bygningen. De to bidrag, hvor forsvindet normalt er det største, giver bygningens samlede lodrette deformation, og bygningens højden vil over tid reduceres, se figur 3.57 og eksempel 3.6.

Sammentrykningen er størst i den nedste etage, men den øverste etage oplever den største nedadrettede bevægelse, da deformationen pr. etage akkumuleres op gennem bygningen.

Fugtdeformationer fra forsvind kan være betydelige og bæreses i vist i fugtbelastede dimensionsskiftninger side 122, se også eksempel 4.4. Trossensindvirkning i spærrede bygninger hovedsageligt ske inden for ca. 1-2 år efter bygningsting.

De spændingsrelaterede deformationer fra statisk påvirkning kan give væsentlige forslag i høje bygninger, men er normalt beskæftede for lave bygninger. Deformationen består af den sammentrykning, som umiddelbart sker, når CLT-elementerne stables, og en længdedeformation (dygtning), der sker over tid, se beregning af CLT-konstruktioner.

Eksempel 3.6: Lodret deformation i etagebygning med CLT-elementer som i figur 3.57 kan den lodrette deformation fra væg 7 mm pr. etage, hvor ca. 5 mm kommer fra fugtdeformation (forsvind) fra 12 % til 7 % træfugtindhold) og ca. 2 mm fra spændingsdeformation (sammentrykning af CLT-væge og dækl).

For at minimere bevægelserne mellem bygningsskælv og materialer, fx trægavler og facader, kan det derfor være en fordel at vente med at udføre opføring af bygningen, til træfugtindholdet i konstruktionen er så lavt som muligt.

Sammentrykningen er størst i de vægge og dækl, stables som vist i figur 2.5a, side 39, men kan reduceres ved andre samlinger, se figur 2.5b, og 4.1. I højtegningsmaterier som figur 2.10 side 42 og figur 2.28 side 50 er den lodrette last koncentreret i søjlerne, hvilket giver en lille forøgelse af spændingsdeformationerne sammenlignet med CLT-væge. Øverst reduceres fugtdeformationerne, da ændringen i fugtindholdet parallelt med fliserne er mindre end for CLT-elementer.

Søjlerne bør være gennemgående med bjælker fastgjort på siden af søjlerne som vist i figur 3.49 side 100 og 3.53 side 104. Hvis søjlerne stables overhængende bjælker for hver etage, vil den lodrette deformation øges med ca. 30 mm pr. etage, hvoraf 7 mm kommer fra bjælkerens forsvind og 23 mm fra spændingsdeformation (sammentrykning af bjælker).

TRÆ 80 MONSTRUM TRÆ 80

65

Træinformation

TRÆ

65

Se mere i TRÆ 80 ...



Tjekliste til fugt

Fugttekniske anbefalinger til projektering og udførelse

1. Hold træet tørt

- Anvend CLT, hvor det kan holdes tørt.
- Anvend hældningstage med tagudhæng, der giver god beskyttelse mod nedbør.
- Anvend sikre vådrumsløsninger og VVS-installationer.
- Anvend en fugtstrategi.

2. Følg fugtstrategien

- Beskyt mod skadelig opfugtning i byggefasen.
- Anvend lodret byggetakt om muligt.
- Anvend et fugtberedskab.
- Mål og dokumenter træfugtindhold løbende.
- Sæt tid af til udtørring.

3. Design for fugtbetingede bevægelser

- Udform detaljer så de kan optage træets fugtbetingede bevægelser, fx elementsamlinger, beklædninger, membraner, installationer og facader.
- Anvend tætning i elementsamlinger.
- Forvent svindrevner i synlige CLT-overflader.
- Lad træet tørre før montage af beklædninger.

66

Træinformation

TRÆ

66

Tak for opmærksomheden

+45 2623 8672 / kk@traeinfo.dk



68

Kasper Kristensen

Træinformation

TRÆ

68