

Brandteknisk eftervisning af bærende trækonstruktioner



Forord

Træ som byggemateriale vinder stigende anerkendelse som et middel til at reducere emissioner af klimaskadelige gasser forbundet med produktion af byggevarer. Særligt bærende konstruktioner af træ anses at have et væsentligt potentiale.

I Danmark er det muligt at anvende bærende trækonstruktioner inden for rammerne af de præ-accepterede løsninger, men med et relativt begrænset anvendelsesområde fx ift. bygningshøjde og kombination med andre biobaserede byggevarer. Anvendelsesområdet kan potentielt udvides ved at anvende funktionsbaserede metoder til dokumentation af brandsikkerheden for den pågældende bygning.

Statikere og brandrådgivere har ikke en lang tradition for tæt samarbejde, og der er derfor ikke etableret en entydig arbejdsgang og kommunikationsform i de aspekter af dimensionerings- og dokumentationsarbejdet, hvor de to faggruppers ansvar mødes og delvist overlapper hinanden.

Nærværende vejledning har til hensigt at understøtte samarbejdet mellem statikere og brandrådgivere og øge forståelsen for hinandens fagområder. Det er også håbet, at vejledningen vil medføre en mere ensartet praksis blandt rådgiverne.

Målgruppen for vejledningen er især certificerede statikere og brandrådgivere der projekterer bygningskonstruktioner der ligger uden for rammerne af de præ-accepterede løsninger. Da der forsøges etableret en fælles referenceramme, kan andre aktører i byggebranchen dog også få glæde af vejledningen.

Ud over metoderne i de relevante Eurocodes var arbejdsgruppen ikke i stand til at identificere validerede og/eller alment accepterede metoder til brandteknisk eftervisning af bygninger med bærende trækonstruktioner. Ambitionen er dog, at dette inkluderes i kommende revisioner af vejledningen.

Arbejdsgruppe

Nærværende vejledning er udarbejdet af en arbejdsgruppe bestående af:

Anders Dragsted, DBI
Annemarie Poulsen, DBI
Daniel Frank Christoffersen Carstensen Johansen, Artelia
Ersün Züfer, SWECO
Finn Larsen, WSP
Hjalte Bengtsson, DTU Construct
Jesper Prip Mørch, Prip Brandrådgivning
Jonathan Jørgensen, SWECO
Mona Lau Hansen, Træinformation
Morten Steen Johansen, SafeDesign
Oliver Zillo Jensen, COWI
Pascall Qvistgaard Sommer, Artelia
Sigurjon Ingolfsson, Arup
Toni Christiansen, Niras

I arbejdet med vejledningen har arbejdsgruppen i videst mulige omfang søgt konsensus blandt medlemmerne gennem diskussioner på arbejds møder og iterationer i skriveprocessen.

Kontaktperson:

Anders Dragsted, DBI
and@dbigroup.dk
Tlf. 51 80 01 39

Facilitering af arbejdet samt redigering af vejledningen blev varetaget af DBI med støtte fra Uddannelses- og Forskningsstyrelsens resultatkontraktmidler.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	i
Arbejdsgruppe.....	ii
1 Introduktion	1
1.1 Vejledningens formål og målgruppe.....	1
1.2 Anvendelsesområde	1
1.3 Regulatorisk grundlag	1
1.4 Definition af bærende trækonstruktioner	2
2 Bærende trækonstruktioner i virkelige brandforløb	4
2.1 Materialeegenskaber.....	4
2.2 Interaktion mellem trækonstruktion og branddynamik	5
3 Valg af beskyttelsesformål og principper for dokumentation	7
3.1 Fastlæggelse og konkretisering af "beskyttelsesformål"	7
3.1.1 Krav til brandmodstandsevne	7
3.1.2 Krav til bærende konstruktioner (statiske forhold)	9
3.1.3 Opførelse af byggeriet.....	9
3.1.4 Konkrete risici.....	10
3.2 Valg af metode for dokumentation af brandsikkerhed	10
3.3 Valg af metode for dokumentation af bærende konstruktioner	13
4 Valg af brandkurve.....	15
4.1 Standardbrandkurven	15
4.2 Naturligt brandforløb	15
4.2.1 Bestemmelse af brandbelastning.....	15
4.2.2 Brug af parametrisk brandforløb.....	16
5 Dimensionering af trækonstruktioner	17
5.1 Bestemmelse af brandpåvirket tværsnit.....	17
5.2 Beskyttelse af tværsnit.....	17
5.3 Bestemmelse af effektivt tværsnit.....	18
5.4 Dimensionering af bæreevne	18
5.5 Dimensionering af adskillende konstruktioner	18
5.6 Brandbeskyttelse af trækonstruktioner	18
6 Andre forhold end bærende konstruktioner	19
7 Referencer	20
8 Appendiks 1	21

1 Introduktion

1.1 Vejledningens formål og målgruppe

Denne vejledning beskriver forslag til strategi, metode og forudsætninger for udarbejdelse af brandteknisk og statisk dokumentation for bygninger med bærende trækonstruktioner, hvor der er fravigelser fra de præ-accepterede løsninger beskrevet i bilagene til kap. 5 i BR18 [SBST, 2025].

Vejledningens primære formål er at fungere som hjælpeværktøj for statikere og brandrådgivere og således også medvirke til et mere smidigt samarbejde mellem de to faggrupper. Vejledningen giver således forslag til hvilke elementer der kan/bør inkluderes i den brandtekniske og statiske dokumentation samt beskriver hvilke metoder der kan/bør anvendes ifm. dokumentationsprocessen.

Hensigten med vejledningen er at opnå en højere grad af forudsigelighed og ensartethed i design- og projekteringsprocessen, en bedre kommunikation mellem de involverede parter samt et brandsikkerhedsniveau som tilfredsstiller BR18.

Vejledningen er i nærværende version ikke fyldestgørende og det påhviler derfor læseren at forholde sig kritisk til indholdet i relation til gældende lovgivning og det aktuelle byggeri samt at opsøge supplerende litteratur.

1.2 Anvendelsesområde

Vejledningen er som udgangspunkt gældende for alle anvendelseskategorier og højder. Brandrådgiver og statiker skal dog altid vurdere om vejledningen er relevant og anvendelig for det konkrete byggeri med hensyntagen til bl.a. bygningens kompleksitet.

Metoderne beskrevet i vejledningen er ikke nødvendigvis indenfor rammerne af brandklasse 1-3 jf. BR18, og dermed skal brandrådgiver være opmærksom på, at metoderne ofte vil medføre indplacering i brandklasse 4. Her kan vejledningen tjene som et fælles udgangspunkt for brandrådgiveren og tredjepartskontrollanten.

Vejledningen beskriver ikke de præ-accepterede løsninger og deres anvendelsesområde. Der henvises til relevante vejledninger til BR18, kapitel 5 - brand.

Hybridkonstruktioner (fx træ/stål, træ/beton) og samlingsdetaljer er kun i yderst begrænset omfang dækket af gældende standarder for eftervisning. Det har desværre ikke været muligt at inkludere anbefalinger til disse konkrete emner i nærværende version af vejledningen.

1.3 Regulatorisk grundlag

Bygningskonstruktioners bæreevne under brandpåvirkning skal bestemmes som angivet i BR18. Bestemmelserne er delt op i to dele og omfatter både brandkrav og konstruktionskrav.

Brandkravene fastlægger de nødvendige ydeevnekriterier for konstruktionen i form af brandmodstandsevne, evt. krav til materialer og relevante brandpåvirkninger. Herefter foretages en statisk eftervisning af, at bygningskonstruktionen kan bevare sin bæreevne og stabilitet under de(t) nødvendige brandforløb, med de belastninger som følger af kravene til bærende konstruktioner.

De konkrete brandkrav til brandmodstandsevne, materialer og brandpåvirkninger følger af BR18, kapitel 5 og krav til bærende konstruktioner og statiske belastninger følger af BR18, kapitel 15.

Regler for bestemmelse af brandmodstandsevne fremgår af BR18, kapitel 5, §§ 99-103 og er uddybet i:

- *Kapitel 3: Bærende konstruktioner* i Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5, der beskriver de grundlæggende principper for bestemmelse af Bygningsreglementets krav til brandmodstandsevne for bærende konstruktioner udsat for brand,
- DS/EN 1991-1-2:2007, *Eurocode 1: Last på bærende konstruktioner – Del 1-2 – Brandlast* med det nationale danske anneks DS/EN 1991-1-2 DK NA:2024
- DS/INF 1991-1-2:2013, *Anvendelse af parametrisk brandpåvirkning ved dimensionering af bærende konstruktioner*.

Regler for bæreevne af trækonstruktioner under brandpåvirkning fremgår af BR 18, kapitel 15, §§ 340, 343, stk. 1 og stk. 2 nr. 1-3 og 348. For så vidt angår brandsikring af trækonstruktioner er disse regler nærmere beskrevet i:

- DS/EN 1990:2007 *Eurocode 0: Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner* med det nationale danske anneks DS/EN 1990 DK NA.
- DS/EN 1991-1-1:2007 *Eurocode 1: Densiteter, egenlast og nyttelast for bygninger* med det nationale danske anneks DS/EN 1991-1-1 DK NA.
- DS/EN 1991-1-2:2007 *Eurocode 1: Last på bærende konstruktion – Brandlast* med DS/EN 1991-1-2 DK NA.
- DS/EN 1995-1-1+AC:2007 *Eurocode 5: Trækonstruktioner, Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner* med det nationale danske anneks DS/EN 1995-1-1 DK NA.
- DS/EN 1995-1-2+AC:2007 *Eurocode 5: Trækonstruktioner, Brandteknisk dimensionering* med det nationale danske anneks DS/EN 1995-1-2 DK NA.
- SBI-anvisning 271 *Dokumentation og kontrol af bærende konstruktioner*.

Der vil være en naturlig grænseflade mellem den dokumentation, som den certificerede brandrådgiver og den certificerede statiker skal udforme. Dette er beskrevet i BR18, kapitel 32 *Certificerede statikers og brandrådgivers virke*, med tilhørende vejledning.

Da brandrådgiverens virke omhandler eftervisning af kravene i kapitel 5, vil den certificerede brandrådgiver i designfasen opstille funktionskrav/ydeevnekriterier for reaktion på brand, brandmodstandsevne, og valg af brandforløb (fx standardbrand eller naturligt brandforløb). Eftervisning af bæreevne for ulykkesdimensioneringstilstand, brand (eftervisning af brandmodstandsevnen) dokumenteres i regi af den certificerede statikers virke jf. BR 18, kap 15.

Regler omkring certificeret brandrådgivers og certificeret statikers virke behandles ikke nærmere i denne vejledning.

1.4 Definition af bærende trækonstruktioner

En bygnings bærende konstruktion, hvortil der er krav om brandmodstandsevne, omfatter bygningens hovedkonstruktion, som defineret i DS/INF 1990:2024, *Vejledning om indplacering af konstruktioner i konsekvensklasser*. Hovedkonstruktionen er de dele af bygningens konstruktioner, der medvirker til en overordnet nedføring af lodrette og vandrette laster til jorden.

Hovedkonstruktionen kan bestå af et eller flere statiske systemer, som bestemmes af statikeren. Såvel det lodrette system, som det vandrette system kan have forskellige lastnedføringer afhængig af lasttilfælde. Dermed kan det statiske system være forskellig fra brudgrænsetilstand, over anvendelsesgrænsetilstand, til ulykkestilfælde, som fx brand.

Hovedkonstruktionen kan være opbygget af forskellige typer konstruktionselementer fx søjler, bjælker, dæk, vægge og samlingselementer.

Udover hovedkonstruktionen kan der være særlige brandkrav til bærende konstruktioner, der understøtter ikke-bærende brandadskillende bygningsdele, flugtveje og redningsberedskabets indsatsveje fx i form af krav til trapper, gange mm. På tilsvarende vis kan der være krav om, at visse bygningsdele på facader, så som tunge beklædninger eller altaner ikke må falde ned og dermed kunne gøre skade på personer og redningsberedskab.

For trækonstruktioner har man traditionelt anvendt konstruktionselementer som bjælker, søjler og rammer, der både har været udført af konstruktionstræ og som limtræ. I de senere år er der tillige introduceret dæk og vægkonstruktioner i form af massivtræselementer, som fx CLT.

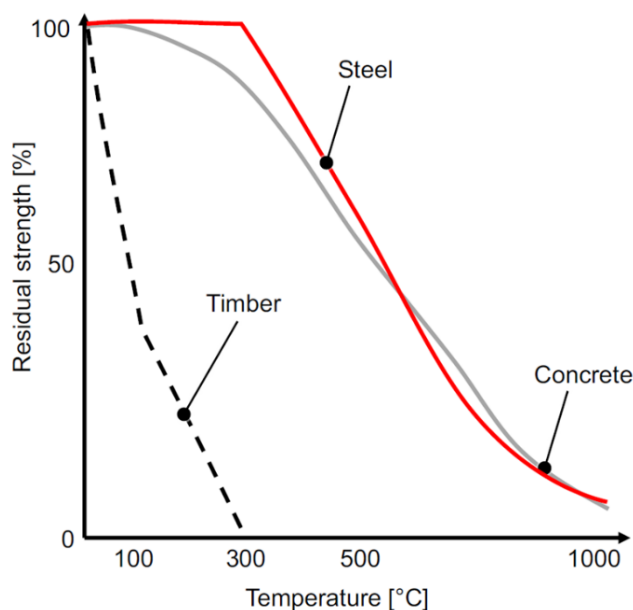
2 Bærende trækonstruktioner i virkelige brandforløb

2.1 Materialeegenskaber

Træ har været anvendt som konstruktionsmateriale gennem flere århundreder. Der er derfor lang erfaring med hvordan traditionelt konstruktionstræ anvendt i søjle/bjælkesystemer reagerer på et standardbrandforløb. Dimensionering af bærende trækonstruktioner for ulykkeslast brand, er beskrevet af både normgrundlag og vejledninger udgivet af anerkendte fageksperter.

Materialeegenskaberne for bærende trækonstruktioner ved brandpåvirkning er væsentlige at have for øje ved funktionsbaseret eftervisning. Træ opfører sig væsentligt forskelligt fra andre traditionelle konstruktionsmaterialer som beton og stål, ved at miste kritisk styrke ved lavere temperaturer og have begrænset evne til at genvinde den mistede styrke, når temperaturen falder efter en brand.

Grundlæggende begynder træ at miste styrke tidligt i brandforløbet. Allerede ved temperaturer omkring 100 °C, har træet mistet 50 % af sin trykbæreevne og ved 300 °C vil cellerne forkulle og have mistet bæreevnen fuldstændigt. Dette er illustreret på Figur 1, hvor styrkereduktionen for træ sammenlignes med beton og stål.

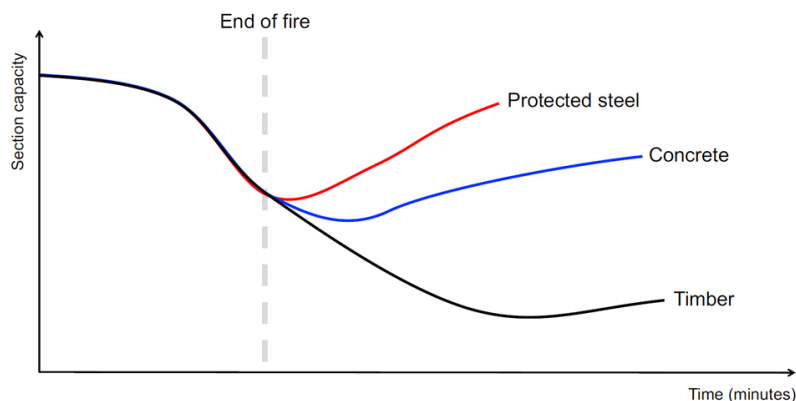


Figur 1: Reststyrke som funktion af temperaturen for træ, stål og beton [Law, 2023]

Den termiske modifikation af cellerne i træet (forårsaget af opvarmningen) medfører desuden at træet kun i beskedent omfang kan genvinde dets tidligere styrke, selvom der ikke er sket forkulning. Som illustreret på Figur 2 vil stål og beton i højere grad end træ genvinde styrken ved afkøling.

De omtalte materialeegenskaber for træ, kan resultere i større sandsynlighed for at konstruktioner svigter efter deres dimensionerede brandmodstandsevnetid ved standardbrandpåvirkning (fx R 30, R 60 eller R 120). Årsagen er, at på trods af at træ har en relativt lav varmeledningsevne, så kan varmepåvirkning på overfladen forårsage kritisk opvarmning længere inde i tværsnittet længe efter at branden er slukket. Dette er væsentligt at have for øje når bygningens stabilitet vurderes ift. et fuldtudviklet brandforløb.

Desuden kan der i længere perioder, efter at rumtemperaturen ellers er aftagende, findes glødebrande fx langs CLT-vægge, der vil påvirke samlinger kritisk, selv der hvor konstruktionerne efterslukkes af redningsberedskabet.



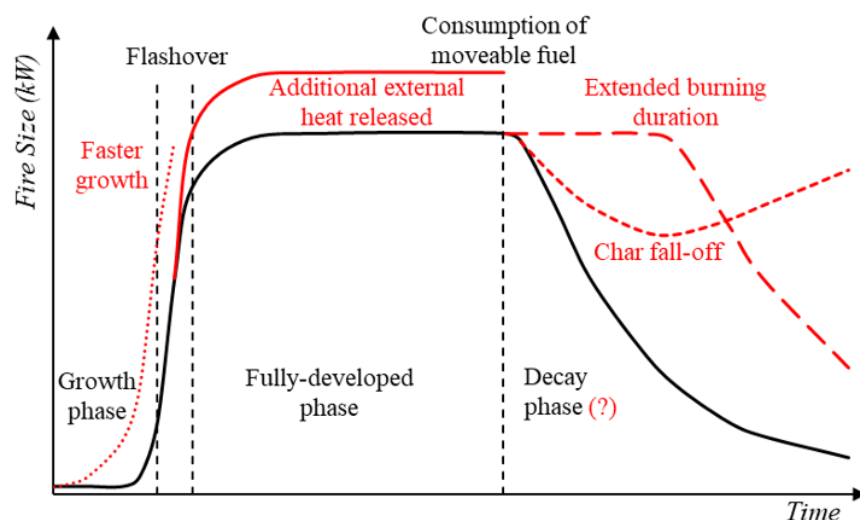
Figur 2: Principiel fremstilling af ståls, betons og træes evne til at genvinde styrken når temperaturen falder [Law, 2022]

2.2 Interaktion mellem trækonstruktion og branddynamik

I sammenligning med ikke-brændbare materialer kan træ som konstruktionsmateriale, ændre branddynamikken væsentligt i et rum eller en bygning.

I nærværende afsnit beskrives de grundlæggende mekanismer og udfordringer kun overfladisk. Afsnittet er primært baseret på rapporten *Design of taller timber buildings subjected to accidental loads: a state-of-the-art review* [Casagrande, 2022]. Der henvises til denne rapport samt øvrig faglitteratur for en mere detaljeret gennemgang af problematikken.

Figur 3 illustrerer hvordan tilstedeværelsen af eksponerede trækonstruktioner kan påvirke brandforløbet i et rum. Den sorte kurve viser brandforløbet baseret på at det alene er den variable brandbelastning i form af inventar der indgår i brandforløbet. Den røde kurve viser hvorledes brandforløbet kan ændres som følge af at rummets overflader helt eller delvist er udført af brændbare materialer så som træ.



Figur 3: Potentiel indflydelse fra trækonstruktioner (rød) på effektafgivelsen i en rumbrand i forskellige faser [Pope, 2022]

Som vist på figuren vil brændbare overflader kunne bidrage til et hurtigere brandforløb i vækstfasen og dermed vil tiden til opnåelse af kritiske forhold i et rum forkortes. Samtidig kan det forkorte tiden til overtænding, hvor alle brændbare overflader i rummet er antændt. Herefter vil den ekstra brandbelastning, der kommer fra eksponerede trækonstruktioner kunne bidrage med energi til brandens udvikling.

I den fuldt udviklede fase vil den ekstra brandbelastning fra brændende trækonstruktioner øge brandeffekten der afgives i rummet.

I underventilerede rum vil overskydende brændstof, der ikke forbrændes i rummet, blive forbrændt uden for rummet, når de varme røggasser via åbninger i rummets overflader blandes med ilt udenfor rummet. Dette kan f. eks ske i form af større flammer ud ad et vindue til det fri, som så giver anledning til en kraftigere brandeksponering af facaden i den brandramte bygning eller større stråling til nabobygninger.

Eksponeret træ har desuden lavere varmeledningsevne og varmekapacitet sammenlignet med fx beton, tegl eller gipskartonplader, hvilket resulterer i højere varmeakkumulering i brandramte rum og potentielt højere temperaturer.

Brændende træoverflader kan også forlænge varigheden af den fuldtudviklede fase betydeligt, hvilket især bliver kritisk for den bærende konstruktion, hvis "selvslukning" af trækonstruktionernes overflader ikke sikres. Nedfald af kullag, delaminering ved limlag (i fx CLT-konstruktioner), svigt af brandbeskyttende lag eller uhensigtsmæssig varmestråling mellem overflader kan alt sammen resultere i en brand der fortsætter længe efter at rummets interiør (den variable brandlast) er udbrændt. Dermed er der risiko for kollaps af de bærende konstruktioner hvis branden ikke forinden dæmpes/slukkes af automatiske slukningsanlæg eller af redningsberedskabet. Dette er væsentligt forskelligt fra ubrændbare konstruktioner, hvor den primære energikilde er den variable brandlast.

Nyere forskning¹ viser, at risikoen for at en brand opretholdes alene af de bærende trækonstruktioner – dvs. når den variable brandlast er bortbrændt – stiger væsentligt hvis de ubeskyttede trækonstruktioner udgør mere end 20 % af rummets samlede overfladeareal. Dette understøtter "20 %-reglen" i de præ-accepterede løsninger.

¹ A.A.A Ahmed, R. M. Hadden, A. Law, *Meta-analysis of temperature, heat release rate, delamination and auto-extinction of timber compartments*, Fire Safety Journal, Volume 146, 2024

3 Valg af beskyttelsesformål og principper for dokumentation

3.1 Fastlæggelse og konkretisering af "beskyttelsesformål"

3.1.1 Krav til brandmodstandsevne

Funktionskrav til bærende konstruktioners brandmodstandsevne findes i BR18, kapitel 5, § 99, som angiver, at:

"I tilfælde af brand skal bygninger og bygningsdele have en tilstrækkelig brandmodstandssevne.

Stk. 2. Projektering og udførelse af bygningers konstruktioner skal ske under hensyn til, at:

1) Evakuering af de personer, der opholder sig i bygningen, kan ske på sikker vis, og at der ikke sker væsentlige skader på bygningen.

2) Der ikke sker skade på personer og bygninger på anden grund.

3) Redningsberedskabet har forsvarlig mulighed for redning af personer og for at gennemføre det slukningsarbejde og den begrænsning af brandspredning, som er nødvendig herfor.

4) Der ikke sker væsentlige skader på andre bygninger på egen grund, som kan medføre fare for personer eller redningsberedskabets indsatsmulighed."

BR18 angiver dermed, at bygningskonstruktioners bæreevne under brand har til formål at sikre at:

- Der kan ske sikker evakuering og redning af personer fra både den bygning, der brænder og fra andre bygninger på egen og nabogrund,
- Redningsberedskabets indsatsmuligheder er forsvarlige i relation til deres arbejde med redning af personer og sikring mod brandspredning, og
- Væsentlig skade som følge af brandspredning på egen grund begrænses og der må ikke ske brandspredning til nabogrund.

Det er her væsentligt at påpege, at formålet med brandsikring af bærende konstruktioner er sikkerhed for personer. Det er ikke alene personer i den bygning, hvori branden opstår, men også sikkerhed for personer i andre bygninger. Da en bygningsejer ikke må disponere over nabogrund, og da redningsberedskabet ikke kan forudsættes at være dimensioneret til en brand i flere bygninger, må der heller ikke ske brandspredning til bygninger på nabogrund.

Dermed beskrives, at bærende konstruktioners brandmodstandsevne er væsentligt for hele bygningens sikkerhed, og at svigt af en bærende konstruktion ikke må forringe bygningens brandsikkerhed som helhed. Det skal bemærkes, at kravene til bærende konstruktioners brandmodstandsevne ikke i sig selv indeholder en konkret tidsgrænse. Det ses fx i forhold til, at der ikke må ske skade på nabogrund, hvor kravet ikke indeholder henvisning til en tidsperiode.

Kravene i § 99 uddybes for bærende konstruktioners brandmodstandsevne i §§ 100-103, hvoraf det sammenfattende fremgår, at:

- Konstruktionerne skal mindst have en brandmodstandsevne bestemt ved standardbrandpåvirkning, eller være dimensioneret til at kunne modstå et naturligt brandforløbs fulde varighed,

- Brandforløbene skal bestemmes som angivet i Eurocodes (DS/EN 1991-1-2 med tilhørende nationalt annekst).
- Hvor konstruktionerne understøtter ikke bærende brandadskillende bygningsdele, skal konstruktionen mindst have samme brandmodstandsevne som den adskillende bygningsdel,
- Samlinger må ikke forringe brandmodstandsevnen af den samlede konstruktion.
- Selve bæreevne under brandpåvirkning skal bestemmes som angivet i kapitel 15. Dermed skal bæreevnen bestemmes af statikeren.

For bestemmelse af brandmodstandsevne ved standardbrandpåvirkning henvises til de præ-accepterede løsninger i vejledning til BR 18, kapitel 5.

Der åbnes også op for, at man kan dokumentere brandkravene til de bærende konstruktioner på anden måde end at følge § 100. I så fald skal man jf. § 101 dokumentere, at både § 82 og § 344, stk. 1 er opfyldt. Dermed skal det eftervises, at bygningens samlede sikkerhedsniveau lever op til de brandtekniske sikkerhedsbestemmelser i § 82, og at sikkerheden for den samlede bygningskonstruktion opfylder de statiske sikkerhedsbestemmelser i § 344, stk. 1.

Kravene i § 99, stk. 2, uddybes i andre paragraffer i BR 18, kapitel 5, idet evakuering og redning er behandlet i §§ 91-98, skade på bygningen er behandlet i form af antændelse, brand- og røgspredning i §§ 104-124, skade på nabogrund er behandlet i § 125 og redningsberedskabets indsatsmuligheder er behandlet i §§ 126-133.

Dermed beskriver BR18, at tilstrækkelig sikkerhed for bærende konstruktioners brandmodstandsevne kan eftervises med afsæt i ét af følgende principper:

1. Brug af standardbrandpåvirkning af den bærende konstruktion og følg de præ-accepterede løsninger for bygningen som en helhed.
2. Brug af et naturligt brandforløb og eftervisning af, at konstruktionen bevarer sin bæreevne under hele brandforløbet.
3. Gennemfør en komparativ analyse, hvor sikkerhedsniveauet bestemmes på baggrund af nr. 1 eller 2.
4. Foretag en fuldstændig eftervisning af, at formålene angivet i kravene i § 82 er opfyldt.

Anvendelse af nr. 2-4 vil resultere i at byggeriet skal indplaceres mindst i BK3 og dokumentationsformen accepteres af en certificeret brandrådgiver mindst klasse BK3/4. Der kan desuden være behov en dialog med redningsberedskabet i forhold til deres indsatsforhold.

Ved brug af præ-accepterede løsninger som grundlag for bestemmelse af et sikkerhedsniveau, skal man, jf. Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5 - Brand, kapitel 1 være opmærksom på at de præ-accepterede løsninger relaterer sig til traditionelt byggeri med de begrænsninger, der følger deraf, og at brandpåvirkningen altid er en standardbrand.

Præ-accepterede løsninger baserer sig på erfaringer fra byggeri, hvor de bærende konstruktioner i større byggerier primært har været udført af ubrændbare konstruktionsmaterialer eller hvor bærende trækonstruktioner har været inddækket. Dog giver de gældende præ-accepterede løsninger mulighed for at anvende træ som bærende konstruktion for bygninger, med gulv i øverste etage op til 12 m over terræn i anvendelseskategori 1-5, hvis maksimalt 20 % af overfladerne på vægge og lofter består af eksponerede trækonstruktioner. Der er ikke præ-accepterede løsninger for højere bygninger udført med bærende konstruktioner af træ.

Det bemærkes, at det kun er tilladt med bærende konstruktioner af træ i bygninger i indtil to etager for bygninger i anvendelseskategori 6, hvor personer ikke nødvendigvis kan evakuere ved egen hjælp.

Grænsen på 12 m er også i overensstemmelse med den højdegrænse, der er for bærende konstruktioner, hvor man overgår fra middel konsekvensklasse CC2 til høj konsekvensklasse CC3, og dermed skærper kravene til sikkerhed mod svigt af konstruktionen.

"20 %-reglen" stemmer overens med den viden vi har om, at branddynamikken i rum med maksimalt 20 % eksponeret træ ikke afviger væsentligt fra rum med ubrændbare overflader ¹. Dermed kan man forudsætte, at brandudvikling i et rum ikke ændrer sig væsentligt i rum med op til 20 % eksponeret træoverflade, såfremt de øvrige overflader ikke bidrager væsentligt til brandens udvikling, og dermed ændres ikke på de erfaringsmæssige forudsætninger for de præ-accepterede løsninger. "20 %-reglen" forudsætter samtidig, at de resterende 80 % – hvis der er tale om trækonstruktioner – er beskyttet mod antændelse i det aktuelle tidsrum.

3.1.2 Krav til bærende konstruktioner (statiske forhold)

Funktionskrav til bærende konstruktioner fremgår af BR18, kapitel 15. Der er ikke eksplicitte krav relateret til konstruktioners bæreevne under brand, idet brand er én af flere ulykkeslaster.

Det grundlæggende sikkerhedskrav til bærende konstruktioner er defineret i § 340 som:

"Projektering, udførelse, drift og vedligehold af konstruktioner og bygningsdele skal ske under hensyn til, at der:

- 1. Ikke sker skade på personer og bygninger på egen grund eller på nabogrunde.*
- 2. Ikke opstår risiko for personers sundhed på grund af svigt i konstruktionerne.*
- 3. Skal opnås tilfredsstillende forhold i funktions- og holdbarhedsmæssig henseende.*
- 4. Ikke opstår risiko for personers sundhed på grund af indtrængen af skadedyr."*

Grundlæggende ses det, at der er sammenfald med sikkerhedsbestemmelserne for brand i kapitel 5 fx i relation til, at der ikke må ske skade på personer og bygninger på egen og nabogrund.

§ 340 uddybes i §§ 341-355 i form af henvisninger til anvendelse af Eurocodes ved bestemmelse af konstruktioners bæreevne.

3.1.3 Opførelse af byggeriet

Der gøres opmærksom på, at BR18, kapitel 7 foreskriver krav til byggepladsen og udførelse af byggearbejder. Heraf fremgår bl.a. krav til konstruktioners sikkerhed under opførelse, at der ikke må ske skade på nabogrund, samt en række brandværnsforanstaltninger. Emnet beskrives ikke videre her.

Trækonstruktioner er ekstra udsat i byggeperioden, da både passiv og aktiv brandsikring endnu ikke er fuldt implementeret og træet udgør en væsentlig brandbelastning.

Foruden kravene der fremføres direkte af BR18, kan byggeriets interessenter – fx forsikringsselskaber – have interesse i at der opnås yderligere sikring af bygningen fx i byggeperioden.

3.1.4 Konkrete risici

Et funktionsbaseret design af trækonstruktioner skal vurderes ud fra det konkrete træbaserede konstruktionssystem, da de forskellige typer kan have forskellige brandmæssige risici.

Følgende liste kan tjene som inspiration for hvilke risici, der kan være aktuelle i relation til brug af trækonstruktioner (uafhængigt af præ-accepterede løsninger i øvrigt), og som dermed bør imødekommes og dokumenteres ifm. funktionsbaseret design og eftervisning af bærende trækonstruktioner:

- Hurtigere brandudvikling pga. antændelse af ubeskyttede brændbare overflader.
- Højere maksimal brandeffekt og/eller temperatur som følge af energibidrag fra brændbare overflader.
- Længerevarende brandforløb pga. øget brandlast.
- Fortsat brand i konstruktionen efter at den variable brandlast er bortbrændt
- Ulmebrand/brand i hulrum.
- Reduktion af bæreevne ved relativt lav temperaturforøgelse i tværsnittet, hvilket kan udgøre en risiko for kollaps både før og efter at branden er slukket.
- Større brandpåvirkning fra flammer uden for brandrummet med fx kraftigere påvirkning af facaden til følge.
- Større behov for efterslukning og monitorering af en brandramt bygning.

Ovenstående liste er ikke udtømmende. Der henvises desuden til hovedformålene med brandsikring som beskrevet i § 82.

Flere af ovenstående risici er relateret til andre elementer af brandstrategien end de bærende konstruktioner. Nogle af disse risici er uddybet i kapitel **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**

3.2 Valg af metode for dokumentation af brandsikkerhed

Ifølge Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5 – Brand, Kapitel 8: Eftervisning [SBST, 2021], kan følgende overordnede metoder anvendes til eftervisning af brandsikkerheden:

- Præ-accepterede løsninger
- Brandteknisk begrundet vurdering (BBV)
- Komparativ analyse
- Brandteknisk dimensionering
- Brandprøvning
- En kombination heraf

Det bør tydeligt fremgå af den brandtekniske dokumentation, hvilke(n) metode(r) der er anvendt. Nedenfor beskrives de enkelte metoder og der gives vejledning om metodernes brug for eftervisning af fravigelser ifm. bærende trækonstruktioner.

Der gøres opmærksom på, at en fravigelse fra præ-accepterede løsninger grundet brug af bærende bygningsdele af træ, vil medvirke at byggeriet jf. BR18-5 kap. 5.1.2 ikke kan anses som et indsatstaktisk traditionelt byggeri og derved skal behandles af den lokale kommunalbestyrelse, som kan stille krav til byggeriet og/eller metode for dokumentation af fravigelsen.

Sikkerhedsniveau

Idet BR18 alene angiver kvalitative funktionskrav og anvender termer som "tilfredsstillende", "tilstrækkeligt" mv. vil der ofte være behov for at definere hvad der betragtes som acceptabelt sikkerhedsniveau for en konkret bygning. Social- og Boligstyrelsen har gennem de præ-accepterede løsninger i bygningsreglementets bilag givet eksempler på løsninger – i form af materialeneutrale ydeevnekrav – der kan betragtes som "tilstrækkeligt brandsikre".

De præ-accepterede løsninger skal ikke betragtes som minimumskrav, der til enhver tid skal efterleves for hver enkelt bygningsdel. En bygning kan således – samlet set – være brandsikker selvom visse bygningsdele ikke opfylder de præ-accepterede løsninger, fx hvad angår klassifikation for brandmodstandsevne efter standardbrandkurven.

Brandteknisk begrundet vurdering (BBV)

Ved en BBV redegøres der for, at den valgte brandtekniske løsning mindst giver samme sikkerhedsniveau, som den pågældende præ-accepterede løsning. Herigennem eftervises det, at sikkerhedsniveauet i BR18 er opfyldt. Metoden er mest velegnet, når der er få eller simple fravigelser, som er uafhængige af hinanden, fra de præ-accepterede løsninger. [SBST, 2021]

Metoden vil sjældent være egnet til dokumentation af brandsikkerheden, når der fraviges fra de præ-accepterede løsninger for bærende konstruktioner, idet fravigelserne sjældent kan betegnes som "mindre". Fravigelser ved brug af trækonstruktioner kan typisk omfatte forhold relateret til, at træ i modsætning til de ubrændbare konstruktionsmaterialer kan bidrage til et brandforløb. Dette kan få indflydelse på både evakuering, redning, redningsberedskabets indsatsmuligheder samt brand-og røgspredning. Dermed er der ofte ikke tale om få og simple fravigelser. Metoden kan jf. BR18, kapitel 5 brand – Kap. 8.5 anvendes på mindre fravigelser hvor der ikke fraviges fra de bærende konstruktioners brandmodstandsevne, men udelukkende de bærende konstruktioners overflade. Eksempler på simple isolerede fravigelser, kan være en mindre målbar overskridelse af 20 % overflader i en enkelt rum eller krav til en flugtvejstrappes overflader.

Desuden kan metoden jf. Bygningsreglementets vejledning ikke anvendes i brandklasse 3 til eftervisning af de bærende konstruktioners brandmodstandsevne som angivet i de præ-accepterede løsninger.

Metoden behandles derfor ikke yderligere i denne vejledning.

Komparativ analyse

Ved den komparative analyse eftervises ved brug af enten en vurdering, en brandteknisk dimensionering eller en brandprøvning, at den valgte brandtekniske løsning mindst giver samme sikkerhedsniveau som den pågældende præ-accepterede løsning, under hensyntagen til svigtsituationer. Herigennem eftervises det, at sikkerhedsniveauet i BR18 er opfyldt. Metoden er mest velegnet, når der er få fravigelser fra de præ-accepterede løsninger og kan kun anvendes i det omfang, de præ-accepterede løsninger er dækkende for referencebyggeriet. [SBST, 2021]

Metoden tager udgangspunkt i, at en valgt løsning i det konkrete byggeprojekt skal give mindst samme sikkerhedsniveau som relevante præ-accepterede løsninger repræsenterer. Fordelen ved komparativ analyse er, at der foreligger et velkendt sammenligningsgrundlag. Ofte kan de præ-accepterede løsninger dog ikke relateres entydigt til et eller flere "beskyttelsesmål" jf. BR

18, § 99, stk. 2. (se afsnit 3.1.1) og det kan derfor være svært at identificere, hvilke parametre der skal sammenlignes. Eksempel: I bygninger hvor gulv i øverste etage er mere end 12 m (og højst 45) over terræn skal de bærende konstruktioner, jf. de præ-accepterede løsninger, udføres mindst som bygningsdel klasse R 120 / A2-s1,d0, dvs. ubrændbare konstruktioner med mindst 120 minutters brandmodstandsevne (standardbrand). Brandmodstandsevnen (R 120) kan relateres til beskyttelsesmålet om at sikre sikker evakuering og redning af personer i bygningen samt forsvarlige forhold for redningsberedskabet. Derimod er det mindre åbenlyst hvilket beskyttelsesmål der relaterer sig til anvisningen om at anvende ubrændbare materialer (A2-s1,d0).

Komparativ analyse bør kun anvendes til dokumentation for bærende trækonstruktioner, når der kan etableres et referencebyggeri baseret fuldt ud på præ-accepterede løsninger. I den forbindelse kan det nævnes, at de præ-accepterede løsninger, jf. Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5 – Brand, Kapitel 3, alene dækker byggeri i risikoklasse 1-3 og bygningskonstruktioner, der er omfattet af Eurocodes. Dermed er de præ-accepterede løsninger ikke dækkende for byggeri i risikoklasse 4 som fx kan være hospitaler i mere end to etager, bygninger med forsamlingslokaler indrettet til mere end 1.000 personer, kontorbygninger, hvor gulv i øverste etage er mere end 45 m over terræn eller bærende bygningskonstruktioner, der ikke er omfattet af Eurocodes.

Når der fraviges fra de præ-accepterede løsninger ved at anvende trækonstruktioner frem for ubrændbare bærende konstruktioner er én af bekymringerne at brandforløbet bliver mere uforudsigeligt og at der er risiko for at branden fortsætter i så lang tid, at der sker svigt i konstruktionen. Mange års erfaring med de præ-accepterede løsninger har vist, at bygninger med R 60 og R 120 er robuste over for mange forskellige brandscenarier og -forløb, når de opføres af ubrændbare materialer. Samme erfaringsgrundlag eksisterer ikke for træbygninger med moderne byggesystemer (fx CLT), hvilket er væsentligt at være opmærksom på, når det skal vurderes om komparativ analyse er anvendelig som metode ifm. et konkret byggeri.

Brandteknisk dimensionering

Ved brandteknisk dimensionering foretages en direkte beregningsmæssig eftervisning af, at sikkerhedsniveauet i BR18 er opfyldt gennem overholdelse af acceptkriterierne. [SBST, 2021]

Beregningerne kan, afhængig af det konkrete byggeris udformning og anvendelse, fx omfatte en beregning af, at personer ikke udsættes for kritiske forhold ved evakuering eller redning, eller at der ikke sker brandspredning mellem to bygninger. Hvilke forhold, der skal undersøges ved den brandtekniske dimensionering, fastlægges i hvert enkelt tilfælde.

Brandteknisk dimensionering kan anvendes til at dokumentere en trækonstruktions bæreevne under brand gennem beregninger. I denne sammenhæng ses der bort fra de præ-accepterede løsninger, og i stedet vurderes sikkerhedsniveauet direkte på baggrund af BR18's funktionskrav.

Når der ved brandteknisk dimensionering anvendes naturligt brandforløb skal det, jf. BR18, § 100, eftervises, at bygningskonstruktionen har tilstrækkelig brandmodstandsevne til at modstå det fuldstændige brandforløb. Dermed er acceptkriteriet ikke en tidsafgrænset periode i minutter, som ved standardbrandpåvirkning, men at konstruktionen skal kunne bevare sin bæreevne i hele brandforløbet (inkl. afkøling af konstruktionerne). Brandkravene gælder, helt til branden er slukket, og konstruktionen er afkølet, da det først er her brandforløbet slutter. Kravene gælder dog ikke det videre forløb, hvor en eventuel nyttelast genindføres.

Selve bestemmelsen af et parametrisk brandforløb kan ske som beskrevet i DS/EN 1991-1-2 med tilhørende nationalt anneks og DS/INF 1991-1-2. Brandforløbet ved en brandteknisk dimensionering kan desuden bestemmes som en lokal ikke-overtændt brand eller andre brandforløb, hvis de tilfredsstillende BR18, § 101.

Det skal her bemærkes, metoden "brandteknisk dimensionering" alene forholder sig til brandkravene (beskyttelsesformålene). Dermed omfatter metoden ikke den type "brandteknisk dimensionering" som fremgår af de respektive materialespecifikke Eurocodes. Dette er en del af eftervisningen af konstruktionens bæreevne, som det fremgår af BR18, kapitel 15.

Brandprøvning(er)

Ved brandprøvning dokumenteres en konkret identificeret brandteknisk løsnings egnethed ved et forsøg, der repræsenterer den løsning, der udføres i bygningen, men ikke nødvendigvis er identisk med denne. En brandprøvning vil normalt blive benyttet som supplement til de øvrige metoder til eftervisning og kan fx benyttes til at fremskaffe eller supplere øvrigt input. [SBST, 2021]

En brandprøvning kan omfatte den enkelte brandtekniske løsning, som fx et brandteknisk slukningsanlægs evne til at begrænse en given brand. En prøvning kan også være forsøg, der undersøger muligheden for evakuering eller redning, eller forsøg der giver input til modellering, fx evakuering. Brandprøvning kan også omfatte andre forhold, der ønskes belyst.

Brug af brandprøvninger i relation til bærende trækonstruktioner kan være prøvning for standardbrand af en given konstruktion, der er påvirket af en statisk last. Det kan også være prøvning af en konstruktion, der indgår i et konkret brandrum, hvor det dokumenteres, at den bærende konstruktion kan overleve et brandforløb den givne rumudformning og brandbelastning, eller der kan foretages en konkret undersøgelse af fx delaminering af CLT.

Brug af brandprøvning kan dermed både anvendes ved bestemmelse af den konkrete brandpåvirkning af en bygningsdel og konstruktionens bæreevne under brand.

Ved brug af data fra standardbrandtest bør det vurderes, hvilken betydning den testede trækonstruktionens eget energibidrag til opvarmning af testovnen har for den samlede analyse, fx ift. den tilladte variable brandlast.

3.3 Valg af metode for dokumentation af bærende konstruktioner

Metoder for bestemmelse af dokumentation af bygningskonstruktioners ydeevne under brand findes overordnet beskrevet i DS/EN 1991-1-2. Der findes forskellige metoder til omfattende brug af tabulerede data, simple beregninger og avancerede beregninger. Dette er et generelt princip, som anvendes i alle Eurocodes.

Tabulerede data er tabelopslag hvor man for en given konstruktion kan finde brandmodstandsevnen fx R 60. Simple metoder omhandler beregningsmetoder som fx en håndberegning af indbrændingsdybden af et givet tværsnit af en trækonstruktion. Avancerede metoder kan fx være FEM-beregninger, hvor temperaturfordelinger bestemmes i et tværsnit eller lastfordelingen i en bygningskonstruktion.

Bygningskonstruktionen kan desuden undersøges på forskellig vis i relation til randbetingelser, statisk last, last som følge af brandpåvirkning, indirekte laster mv. Her findes tre muligheder i form af at undersøge det enkelte element (fx en søjle eller bjælke), en del af konstruktionen (fx

en ramme bestående af søjler, bjælker og samlinger), eller at foretage en global analyse af den samlede bygningskonstruktion.

Der findes ikke tabulerede data i DS/EN 1995-1-2, men de forventes at komme i den næste version af standarden. De tabulerede data vil være begrænset til standardbrandpåvirkning.

DS/EN 1991-1-2 angiver simple beregningsmetoder for bestemmelse af ydeevnen af brandbeskyttelsessystemer og indbrænding samt ydeevne under standardbrandpåvirkning i op til 120 minutter. Metoder for bestemmelse af ydeevne af samlinger er dog begrænset til 60 minutter. I den kommende version af standarden forventes der at komme regler for bestemmelse af samlinger i 120 minutter.

Anvendes et naturligt brandforløb (herunder parametrisk brandforløb) vil der som minimum skulle anvendes simple metoder. Ofte vil begrænsninger på metodens anvendelsesområde gøre, at det for naturlige brandforløb er nødvendigt at anvende avancerede metoder.

DS/EN 1995-1-2 indeholder data for brug af avancerede metoder, men den forholder sig ikke til hvilke metoder, der kan anvendes. Anvendelse af de avancerede metoder kræver derfor specifikke specialistkompetencer både for så vidt angår de brandtekniske som de statiske aspekter ved eftervisningen.

4 Valg af brandkurve

4.1 Standardbrandkurven

Standardbrandkurven er udgangspunktet for alle de klassifikationsbetegnelser for brandmodstandsevne der anvendes i de præ-accepterede løsninger. Det er brandrådgiveren der fastlægger brandkurven for dokumentation af de bærende konstruktioner i et konkret byggeri, og dermed det også brandrådgiverens ansvar at vurdere om standardbrandkurven er anvendelig i et byggeri hvor de præ-accepterede løsninger fraviges.

Social- og Boligstyrelsen har på baggrund af en konkret henvendelse udtalt sig om anvendelse af standardbrandkurven, se Appendiks 1.

4.2 Naturligt brandforløb

Anvendelse af naturligt brandforløb giver mulighed for dels at tage udgangspunkt i den aktuelle brandbelastning (inkl. bidrag fra konstruktionerne) i det konkrete byggeri, dels at evaluere hele brandforløbet inkl. udbrænding og afkøling af den brandmæssige enhed. Grundlaget for bestemmelse af et naturligt brandforløb er DS/EN 1991-1-2, jf. § 100, stk. 1. Standarden angiver, at naturlige brandforløb kan være brande i rum eller lokale brande:

Brande i et rum bestemmes på baggrund af brandbelastning og rummets fysiske egenskaber så som ventilationsforhold og omgivende bygningsdeles evne til at bortlede varme.

Brandforløbene er fuldt udviklede og kan anvendes til at bestemme brandpåvirkningen af konstruktioner i rummet eller konstruktioner, der er placeret uden for rummet. Brande i rum kan være af simple modeller så som zonemodeller, der baserer sig på energi og massebalance eller mere avancerede modeller så som CFD-modeller. Eurocode 1 beskriver i anneks A, hvorledes et parametrisk brandforløb kan anvendes til bestemmelse af temperaturudviklingen (gastemperaturen) i et brandramt rum. I anneks B beskrives, hvorledes varmepåvirkningen af en konstruktion udenfor rummet kan bestemmes.

Lokale brande, der er begrænset til et mindre område af et rum eller i det fri beskrives ved effektafgivelsen, der forårsages af flammer og røggasser i et mindre, afgrænset område (typisk inden etablering af røglag). Temperaturpåvirkningen kan bestemmes vha. håndberegninger eller CFD-modeller. Brug af lokale brande forudsætter, at det dokumenteres, at der ikke kan ske overtænding eller større brandspredning i det pågældende rum inden for den tid der dimensioneres for.

Eurocoden giver også overordnede rammer for brug af andre brandpåvirkninger, men anviser ikke specifikke modeller. Dermed er det muligt at anvende andre modeller, hvis de er validerede til formålet.

4.2.1 Bestemmelse af brandbelastning

Brandbelastningen der skal anvendes ved bestemmelse af temperaturudviklingen i et rum skal jf. Eurocodes og vejledning til BR18 bestemmes som den totale brandbelastning, der er summen af den variable brandbelastning og den permanente brandbelastning. Den variable brandbelastning består af inventar m.m., og den permanente brandbelastning er det bidrag til branden der måtte komme fra fastmonterede overflader, tekniske installationer, bygningsdele og konstruktioner. For det fuldt udviklede brandforløb vil brandbelastningen således være alt inventar og de dele af brændbare byggevarer, der vil forbrænde som følge af brandforløbet.

Bidraget fra bygningsdele kan enten bestemmes som summen af brændværdien af alle bygningsdele i rummet, evt. suppleret med en konkret undersøgelse af om de enkelte bygningsdele rent faktisk vil bidrage til branden. For så vidt angår bestemmelse af bidraget fra trækonstruktionen vil det være nødvendigt at dokumentere modstandsdygtighed for "fuld udbrænding" for rummet eller at inddække (brandbeskytte) konstruktionen, så den ikke bidrager til branden gennem hele brandforløbet. For trækonstruktioner vil brandbelastningen dermed være den del af træet, der er brændt væk som følge af indbrænding.

Scenariet "fuld udbrænding" skal i denne sammenhæng forstås som en fase i brandforløbet, hvor al variabel brandlast er udbrændt, og hvor indbrænding i de bærende trækonstruktioner derefter stopper (eller eventuelt overgår til langsom glødebrand). Det er en forudsætning for eftervisning for fuld udbrænding, at der ikke sker væsentlig de-laminering af trækonstruktionen.

Hvis konstruktionen ikke er modstandsdygtig for "fuld udbrænding", vil hele konstruktionselementer kunne brænde væk og i så fald vil der ske kollaps af konstruktionen.

Brandbelastningen af inventaret kan for traditionelt byggeri findes i DS/EN 1991-1-2 DK:NA eller bestemmes direkte som en 80 % fraktil af den forventede brandbelastning over tid for den konkrete anvendelse af rummet.

Det bemærkes at DS/EN 1991-1-2, anneks E, har en metode til bestemmelse af brandbelastningen, hvor man også inddrager en risikobetragtning af virkningen af fx sprinkling ved bestemmelse af brandbelastningen. Risikoanalysen i anneks E er ikke implementeret i Danmark jf. det nationale anneks.

4.2.2 Brug af parametrisk brandforløb

Brug af parametrisk brand for trækonstruktioner er beskrevet i regi af Eurocodes, hvor man i DS/EN 1991-1-2 anneks A og DS/EN 1991-1-2, DK:NA kan finde beregningsregler samt begrænsninger for anvendelsen af metoden. Metoden er uddybet i DS/INF 1991-1-2, *Anvendelse af parametrisk brandpåvirkning ved dimensionering af bærende konstruktioner*. I den kommende version af DS/EN 1991-1-2 forventes det, at der kommer yderligere beskrivelse af hvorledes brandbelastningen, der kommer fra en blotlagt trækonstruktion, kan medtages i bestemmelse brandpåvirkningen bestemt ved parametrisk brand.

Selve indbrændingen i trækonstruktionen kan bestemmes jf. Eurocode 5, anneks A.

5 Dimensionering af trækonstruktioner

Når en bærende trækonstruktion udsættes for brandpåvirkning, forsvinder en del af tværsnittet ved forbrænding, og styrken af det resterende tværsnit reduceres som følge af opvarmning. Dermed vil trækonstruktionens bæreevne blive reduceret væsentligt.

5.1 Bestemmelse af brandpåvirket tværsnit

Som udgangspunkt skal det jf. DS/EN 1991-1-2 forudsættes, at der opstår brand i en brandmæssig enhed i en bygning (et brandrum), hvor den brandmæssige enhed er defineret ved, at den kan sikre mod brandspredning til andre dele af bygningen. Når de præ-accepterede løsninger anvendes, kan det antages, ift. beregning af de bærende konstruktioner, at den brandmæssige enhed svarer til en brandsektion.

Ved bestemmelse af det brandpåvirkede tværsnit, er det nødvendigt at bestemme konstruktionselementets placering i brandsektionen. En fritstående søjle i brandrummet vil fx være brandpåvirket på alle søjlens fire sider, hvorimod en søjle, der er indbygget i en væg, kan være beskyttet mod brandpåvirkning af væggen afhængigt af hvordan søjlen er indbygget i væggen og væggens brandmæssige kvalitet.

Vægge og dæk, der er indgår i den brandmæssige adskillelse vil fra starten af brandforløbet som regel kun være brandpåvirket fra den side der vender mod brandrummet. Efterhånden som de brandbeskyttende lag mister deres funktion, kan flere sider af konstruktionen blive brandpåvirket.

I praksis vil bestemmelse af brandpåvirket tværsnit være en konkret vurdering i det enkelte tilfælde.

5.2 Beskyttelse af tværsnit

Bærende trækonstruktioner kan udføres med brandbeskyttende beklædninger. DS/EN 1995-1-2 foreskriver hvordan man kan beregne effekten af en række forskellige beklædninger fx gipsplader, krydsfiner og isoleringsmaterialer, som omslutter en søjle eller en bjælke. Effekten bestemmes som en reduceret indbrænding i konstruktionselementet. DS/EN 1995-1-2 beskriver også hvorledes søjler og bjælker, der er indbygget i vægge og dæk kan regnes beskyttet mod indbrænding.

Det nationale anneks til DS/EN 1995-1-2 foreskriver tillige, hvorledes massivtræelementer som CLT kan brandbeskyttes.

Der er imidlertid andre beklædningstyper, end de i DS/EN 1995-1-2 beskrevne, der kan anvendes som brandbeskyttende beklædning af trækonstruktioner. Her henviser DS/EN 1995-1-2 til brandprøvning jf. DS/EN 13381-7, *Prøvningsmetoder til bestemmelse af bidrag til brandmodstandsevnen for bærende bygningsdele – Del 7: Påført beskyttelse til træelementer*.

Det bemærkes, at prøvning jf. DS/EN 14135, *Beklædninger – Bestemmelse af brandbeskyttelsesevne* ikke alene kan anvendes som dokumentation for brandbeskyttelse af bærende trækonstruktioner, da prøvningsstandarden ikke er nævnt i DS/EN 1995-1-2 og anvendelsesområdet for DS/EN 14135 ikke omfatter beskyttelse af bærende konstruktioner. Derfor kan beskyttelse af en trækonstruktion med en beklædning klasse K₂60 ikke i sig selv indgå som dokumentation af brandbeskyttelsen af trækonstruktionen. Hvis den anvendte beklædning indgår i de beklædningstyper, der er angivet i DS/EN 1995-1-2, eller der er

foretaget prøvning jf. DS/EN 13381-7, vil beklædningen kunne indgå i dokumentation af brandbeskyttelsen af konstruktionen med de beregnede egenskaber.

Det skal desuden bemærkes, at DS/EN 1995-1-2 alene angiver simplificerede metoder for bestemmelse af effekt af brandbeskyttende lag for standardbrandpåvirkning. Dette er ikke til hinder for, at der kan gennemføres bestemmelse af effekt af brandbeskyttende lag for naturlig brandpåvirkning så som parametrisk brand. Her vil det være nødvendigt at anvende metoder fra litteraturen eller brug af avancerede metoder så som FEM. Data for de beskyttende lag skal være valideret for den konkrete brandpåvirkning.

5.3 Bestemmelse af effektivt tværsnit

Som nævnt i kapitel 2 er styrken af konstruktionstræ reduceret til 50 % allerede ved en temperatur på omkring 100 °C, og der vil ske en indbrænding i træet ved temperaturer omkring 300 °C. DS/EN 1995-1-2 forenkler disse styrkereduktioner ved at definere to dele af tværsnittet, som ingen styrke har, svarende til det forkullede lag og et styrkeløst lag. Det forkullede lag bestemmes som følge af indbrændingsdybden til et givent tidspunkt og det styrkeløse lag bestemmes som en konstant. Det resterende tværsnit udgør det effektive tværsnit.

DS/EN 1995-1-2 beskriver i detaljer, hvorledes indbrændingsdybden og det styrkeløse lag bestemmes for standardbrandpåvirkning af konstruktionstræ, limtræ og CLT. Der angives ligeledes en metode for bestemmelse af indbrænding ved parametrisk brandpåvirkning. Brug af parametrisk brandpåvirkning har dog en række begrænsninger, der gør, at metoden har et begrænset anvendelsesområde. Det skal bemærkes, at ved bestemmelse af det effektive tværsnit for limtræ og CLT bestemmes indbrændingsdybden både som en funktion af forkulning af træet og limens evne til at fastholde sin effekt ved opvarmning.

Ved brug af standardbrandpåvirkning bestemmes det effektive tværsnit som tværsnittet bestemt ved den tid, der angives som en del af ydeevnekriterierne for konstruktionen. Ved brug af naturligt brandforløb skal konstruktionen kunne modstå det fuldstændige brandforløb, og dermed bestemmes det effektive tværsnit der fremkommer, når det fuldstændige brandforløb er tilendebragt.

5.4 Dimensionering af bæreevne

På baggrund af bestemmelse af det effektive tværsnit kan bæreevnen findes jf. bestemmelserne angivet i DS/EN 1995-1-2. Det bemærkes, at bestemmelse af bæreevne for standardbrandpåvirkning jf. de simple metoder angivet i DS/EN 1995-1-2 er begrænset til 120 minutters brandpåvirkning for selve konstruktionselementet og 60 minutter for samlinger.

Alternativt kan der foretages mere avancerede beregninger fx ved brug af FEM.

Det er også muligt at foretage brandprøvning ved standardbrandpåvirkning af konstruktionen og samlinger jf. relevante afsnit af DS/EN 1365.

5.5 Dimensionering af adskillende konstruktioner

Der henvises til brandprøvning jf. DS/EN 1365 eller beregning jf. Eurocode 5.

5.6 Brandbeskyttelse af trækonstruktioner

For dimensionering af brandbeskyttelse af bærende trækonstruktioner henvises til DS/EN 1995-1-2.

6 Andre forhold end bærende konstruktioner

Ved fastlæggelsen af en brandstrategi for en bygning med bærende trækonstruktioner, der ikke opfylder de præ-accepterede løsninger, er det ikke tilstrækkeligt kun at forholde sig til de bærende konstruktioners bæreevne og eventuelle kollaps. Det er vigtigt at overveje den potentielle indflydelse på andre faktorer, der har betydning for bygningens samlede brandsikkerhed. Nedenstående eksempler kan tjene som inspiration, men listen ikke er udtømmende.

- **Facader:** I tilfælde af en fuldtudviklet brand i et rum vil der ofte afgives varme røggasser som – pga. begrænset tilgang af frisk luft – ikke forbrændes fuldstændig inde i brandrummet. Da glaspartier i facaden som regel har lavere brandmodstandsevne end (brand)døre mod tilstødende rum, vil røggasserne primært strømme ud gennem åbninger i facaden, hvor de blandes med ilt og forårsager udvendige flammer opad facaden. Som beskrevet i kapitel 2 vil en høj grad af eksponerede trækonstruktioner indvendigt i bygningen øge energiindholdet i disse røggasser, hvilket kan resultere i en kraftigere brandeksponering af facaden sammenlignet med et scenarium uden eksponerede træoverflader. Det skal derfor overvejes om det er tilstrækkeligt, at facaden designes og projekteres iht. ydeevnekravene i de præ-accepterede løsninger, eller om der skal gennemføres en nærmere analyse af facaden ift. de faktiske forhold. Det skal især undersøges om en kraftigere brandeksponering af facaden kan medføre uacceptabel flammespredning på overfladerne (inkl. i hulrum), samt om der er risiko for svigt af facadesystemets fastgørelser til den øvrige bygningsstruktur. Det skal desuden undersøges om den øgede energimængde i udvendige flammer medfører kritisk påvirkning (især med varmestråling) på overliggende etager og på tilstødende bygninger på egen eller anden grund, herunder om der er behov for skærpede afstandskrav.
- **Funktion af aktive anlæg:** Aktive brandsikringsanlæg (fx sprinkleranlæg, vandtågeanlæg og detekteringsanlæg) er som udgangspunkt testede og dimensionerede til anvendelse i bygninger med ubrændbare bygningsdele, hvor det er forudsat at det er den variable brandlast der brænder. Ved anvendelse af aktive anlæg i bygninger med eksponerede trækonstruktioner bør det derfor overvejes om designet af det pågældende aktive anlæg skal tilpasses de faktiske forhold og risici.
- **Evakuering:** Eksponerede træoverflader kan potentielt medføre en hurtigere temperaturstigning og mere røgudvikling sammenlignet med et scenarium uden eksponerede træoverflader. Dermed er der risiko for reduktion af tiden, hvor personer i bygningen kan evakuere sikkert. Ved design med eksponerede træoverflader bør det derfor overvejes om den tilgængelige evakueringstid påvirkes væsentligt og dermed om der skal introduceres kompenserende tiltag.
- **Beredskabets indsats:** Eksponerede træoverflader kan potentielt medføre en hurtigere temperaturstigning og en kraftigere brand sammenlignet med et scenarium uden eksponerede træoverflader. Dermed er der risiko for reduktion af tiden, hvor redningsberedskabet kan foretage indsats i brandrummet eller bygningen. Ved design med eksponerede træoverflader bør det derfor overvejes om den tilgængelige indsatstid påvirkes væsentligt og dermed om der skal introduceres kompenserende tiltag. Der kan desuden være et øget behov for efterslukning af brandlommer i skjulte hulrum eller bag inddækninger.

7 Referencer

- [SBST, 2025] 2018, Social- og Boligstyrelsen, version gældende januar 2025
- [SBST, 2021] Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5 – Brand, Kapitel 8: Eftervisning, september 2021
- [Law, 2023] A. Law, *The interaction of fire and structure in timber buildings*, præsentation fra seminar afholdt hos DBI 24. august 2023
- [Casagrande, 2022] D. Casagrande, D. Brandon, G. D'Arenzo, C. Viau, D. Barber, *Design of taller timber buildings subjected to accidental loads: a state-of-the-art review*, report by COST Action CA20139/ WG 3, 2022
- [Pope, 2022] I. Pope, L.W. Menzemer, A.A.A. Ahmed, A. Dragsted, *Fire safety strategies for taller timber buildings*, Nordic Fire & Safety Days 2022 book of abstracts, s. 110–111, Lund, Sverige, 2022
- [Ahmed, 2024] A.A.A Ahmed, R. M. Hadden, A. Law, *Meta-analysis of temperature, heat release rate, delamination and auto-extinction of timber compartments*, Fire Safety Journal, Volume 146, 2024

8 Appendiks 1

Fra: byggeri@sbst.dk <byggeri@sbst.dk>

Sendt: 10. januar 2024 14:11

Til: [Medarbejder i FRI – Foreningen af Rådgivende Ingeniører, navn udeladt]

Emne: Sv: Træbyggeri / ISO 834 brandkurve - Spørgsmål via FRI til SBST (SOS Id nr.: 2159685)

Til [Medarbejder i FRI – Foreningen af Rådgivende Ingeniører, navn udeladt]

Du har i mail af 23. februar 2023 rettet henvendelse til Social- og Boligstyrelsen. Styrelsen skal beklage den lange svartid.

Indledningsvis skal det oplyses, at Social- og Boligstyrelsen ikke kan forholde sig til konkrete sager, og derfor alene udtaler sig vejledende og generelt om emner inden for byggelovgivningen. Den endelige fortolkning henhører under domstolene.

Styrelsen kan vejledende udtale, at bygningsreglementets (BR18) funktionskrav bl.a. fremgår af § 99:

§ 99 I tilfælde af brand skal bygninger og bygningsdele have en tilstrækkelig brandmodstandsevne.

Stk. 2. Projektering og udførelse af bygningers konstruktioner skal ske under hensyn til, at:

- 1) Evakuering af de personer, der opholder sig i bygningen, kan ske på sikker vis, og at der ikke sker væsentlige skader på bygningen.
- 2) Der ikke sker skade på personer og bygninger på anden grund.
- 3) Redningsberedskabet har forsvarlig mulighed for redning af personer og for at gennemføre det slukningsarbejde og den begrænsning af brandspredning, som er nødvendig herfor.
- 4) Der ikke sker væsentlige skader på andre bygninger på egen grund, som kan medføre fare for personer eller redningsberedskabets redningsindsats.

Det er vigtigt at skelne mellem klassifikationskrav og den brandudvikling, der reelt forekommer i et brandrum. Ved klassifikation af bærende bygningsdeles brandmodstandsevne benyttes standardbrandkurven, jf. ISO 834. Dette gælder for både konstruktioner af brændbart og ubrændbart materiale. At en bærende bygningsdel er klassificeret til f.eks. R 60 er ikke nødvendigvis ensbetydende med, at den bærende konstruktion kan opretholde sin bæreevne i 60 minutter under et virkeligt brandforløb.

Ved ethvert bygningsdesign skal det dokumenteres, at bygningsreglementets funktionskrav er opfyldt, og at bygningen har et forsvarligt sikkerhedsniveau. Benyttes de præ-accepterede løsninger i deres helhed som grundlag for hele bygningsdesignet, anses bygningsreglementets brandkrav som udgangspunkt at være opfyldt. Det er muligt at dokumentere brandsikkerheden ved andre metoder.

Når der anvendes andre dokumentationsmetoder end de præ-accepterede løsninger, skal der altid tages udgangspunkt i det konkrete design, herunder om bygningens indretning med eventuelle brændbare bærende konstruktioner og overflader, der kan bidrage til brandbelastningen, fortsat opretholder et forsvarligt sikkerhedsniveau i forhold til evakuering og redningsberedskabets sluknings- og redningsindsats, så bygningsreglementets brand- og funktionskrav er iagttaget. I den forbindelse kan det blandt andet være relevant at inddrage i vurderingerne, hvorvidt fastsættelse af ydeevnekriterier til bygningsdeles brandmodstandsevne baseret på en standardbrandpåvirkning giver et tilstrækkeligt brandsikkerhedsniveau for den aktuelle bygningsudformning og sammensætning af brandsikringstiltag.

Præ-accepterede løsninger kan ikke uden en nærmere og konkret vurdering for det aktuelle bygningsdesign lægges isoleret til grund for design af delelementer, herunder bærende konstruktioner, hvis bygningsdesignet i dets helhed ikke udføres i henhold til de præ-accepterede løsninger.

Styrelsen gør opmærksom på, at det er den enkelte kommune, der i henhold til byggelovens § 16C er bygningsmyndighed, og som derfor træffer konkret afgørelse i hver enkelt byggesag.

Med venlig hilsen

[Medarbejder i Social- og Boligstyrelsen, navn udeladt]

Specialkonsulent

Sikkerhed