



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# Brannteknisk dimensjonering i henhold til Eurocodes



Hovedprosjekt utført ved Høgskolen Stord/Haugesund - Avd. for ingeniørfag

---

*Studieretning : Brannsikkerhet*

Av : Ole Andre R. Larsen  
Øistein Volline Nessler  
Jonas Sykfont



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund  
*Avdeling for ingeniørfag*  
Bjørnsonsgt. 45  
5528 HAUGESUND  
Tlf. nr. 52 70 26 00  
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel Brannteknisk dimensjonering i henhold til Eurocodes		Rapportnummer
Utført av Ole Andre R. Larsen, Øistein V. Nessler og Jonas Sykfont		
Linje Sikkerhet		Studieretning Brannsikkerhet
Gradering Åpen	Innlevert Dato 03.05.02	Veileder ved HSH Stefan Andersson
Oppdragsgiver Skansen Consult AS		Kontaktperson hos oppdragsgiver Stefan Andersson

Ekstrakt:

Oppgaven går ut på å sammenligne Norsk Standard og foreløpige Eurocodes (ENV). De foreløpige Eurocodes er ikke i omfattende bruk i Norge per i dag. Denne oppgaven har til hensikt å forenkle forstandardene ved å lage sammendrag som gjør disse mer brukervennlige for de som arbeider med brannteknisk dimensjonering av konstruksjoner. I tillegg er det en målsetting å få lagd enkle og brukervennlige beregningsverktøy for noen av de beregningsmetoder som står beskrevet i disse forstandardene. Det vil tas utgangspunkt i de foreløpige standarder som omhandler vanlig brukte konstruksjonsmaterialer

## Forord

Hovedprosjektet ved Høgskolen Stord/Haugesund (HSH) blir lagt til siste semester som en avsluttende oppgave.

Hensikten med prosjektoppgaven er at studentene jobber selvstendig med ulike problemstillinger. De får utøvd sine faglige kunnskaper fra tidligere kurs på branningeniørlinjen, samt det å jobbe i et team. Denne oppgaven øver også studenten i det å uttrykke seg skriftlig gjennom rapportskrivning og i muntlig presentasjon.

Brannsikkerhet tar sikte på å utdanne ingeniører med fordypning innen brann og brannteknikk. Her får vi kunnskaper innen fagene brannteknikk, brannodynamikk, aktiv- og passiv brannbeskyttelse, bygningsmessig brannvern, samt generelle sikkerhetsfag.

Denne prosjektoppgaven er rettet mot de branntekniske Eurocodes, som er et sett med Europeiske bygg Standarder som benyttes ved dimensjonering av bærende konstruksjoner. Vi ville bruke denne standarden til sammenligning mot tilsvarende Norsk Standard. Ideen kom gjennom samtaler med vår veileder, Senioringeniør Stefan Andersson, som har en deltids stilling i et rådgivende firma, Skansen Consult AS. Skansen Consult AS arbeider til daglig med brannteknisk prosjektering.

Vi retter en stor takk til:

Våre medstudenter Ronny André Hagen og Helen Westeng, for at vi fikk delta i et av deres brannforsøk som videre kunne benyttes i vår oppgave.

ResQ, for bruk av Deres brannfelt under forsøket.

Høgskolelektor Alf Reidar Nilsen og professor Torgrim Log ansatt ved HSH for innspill under brannforsøkene.

Også takk til høgskolelektor Jan Torgil Josefsen ansatt ved HSH for hjelp til fremskaffelse av litteratur.

Til slutt vil vi takke senioringeniør Stefan Andersson, vår veileder, for ideen til denne oppgaven, hans tålmodighet og sin enorme kunnskap, inspirasjon og oppmuntring til dette prosjektet.

---

Jonas Sykfont

---

Ole Andre R. Larsen

---

Øistein V. Nessler

## Sammendrag

”Brannteknisk dimensjonering i henhold til Eurocode”, er navnet på dette prosjektet. Prosjektet går ut på å sammenligne NS (Norsk Standard) og ENV (foreløpige Eurocodes). Videre har prosjektet til hensikt å forenkle forstandardene ved å lage sammendrag, som gjør disse mer brukervennlige. I tillegg er det en målsetning å lage brukervennlige beregningsverktøy.

Prosjektet tar utgangspunkt i konstruksjonsmaterialene betong, stål, betong/stål og tre. Videre fordypes oppgaven seg i de respektive konstruksjonsmaterialenes forstandarder.

Ved sammenligning av NS og ENV, kom det fram flere forskjeller. En av forskjellene er at ENV tar mer hensyn til materialenes termiske og mekaniske egenskaper ved høye temperaturer. Dette bidrar til at ENV-standarden gir et bedre grunnlag for en mer nyansert brannteknisk konstruksjons løsning, som videre fører til mindre overdimensjonering. Sett ut i fra en økonomisk synsvinkel er dette positivt.

Vi noterer oss og, at Norsk Standard snart kommer i en fornyet versjon. Den oppdaterte Norsk Standard ser ut til å være temmelig lik ENV. Etter hva det ser ut som på hørings standarden, vil denne være en forkortet oversettelse av ENV. Vi mener dette kan være forvirrende og unødvendig. Spesielt siden det er åpnet for bruk av nasjonale applikasjons dokumenter. Disse dokumentene er ment for å tilpasse ENV til de forskjellige brukerlandene. Norsk Standard burde etter vår mening heller utformes som et nasjonalt applikasjons dokument.

Forenklingene av forstandardene tar for seg konstruksjonsmaterialene betong, stål, betong/stål og tre. Videre i forenklingene, er det sett nærmere på generelle egenskaper hos de respektive konstruksjonsmaterialene. Det ses spesielt på egenskapene under brannpåkjenning. Og til slutt forklares det hvilke beregningsmetoder ENV tar for seg. Disse er tabulert data, forenklede – og avanserte/generelle beregningsmetoder.

Forstandardene er mer detaljert beskrevet i vedleggene 1 til 5  
I tillegg er det utført et komplett beregningseksempel i vedlegg 6.

Beregningsverktøyet er utformet i Excel og ligger som vedlegg 7 til dette prosjektet. Verktøyet er lett å bruke, men det krever visse faglige kunnskaper. Beregningsverktøyet er laget for å kunne benyttes til alle utregninger mhp. dimensjonering av bærende konstruksjoner.

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag.....	2
Innholdsfortegnelse .....	3
<b>1 Innledning .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Sammenligning av Eurocodes og Norsk Standard.....</b>	<b>6</b>
<b>4 Generelt om Eurocodes.....</b>	<b>10</b>
4.1 Målet med Eurocodes.....	10
4.3 Nasjonale applikasjons dokumenter (NAD) .....	11
<b>5 Eurocodes .....</b>	<b>12</b>
5.1 Laster på konstruksjoner ved brann, ENV 1991-2-2.....	14
5.2 Branntekniske dimensjonering av betong, ENV 1992-1-2 .....	18
5.3 Brannteknisk dimensjonering av stål, ENV 1993-1-2 .....	22
5.4 Brannteknisk dimensjonering av betong/stål, ENV 1994-1-2 .....	26
5.5 Brannteknisk dimensjonering av tre, ENV 1995-1-2.....	30
<b>6 Eksempel på bruk av ENV til brannteknisk dimensjonering .....</b>	<b>33</b>
6.A Beregning av parametrisk tid-temperaturkurve.....	34
6.B Diskusjon om sammenligningen av virkelig brannforløp med beregnet parametrisk tid-temperaturkurve.....	35
6.C Beregning: Holder betong dekket i en brannsituasjon? .....	37
6.D Beregning: Holder stålbjelken i en brannsituasjon?.....	38
6.E Beregning: Holder trebjelken i en brannsituasjon? .....	40
<b>7 Diskusjon – Konklusjon.....</b>	<b>42</b>
<b>8 Referanse liste.....</b>	<b>43</b>

# 1 Innledning

Norge har en gammel og stolt byggtradisjon. Med vakre bygninger og godt planlagte byer. Variasjonene med alt fra store byer, slik som Oslo og Bergen, til små fiskebygder langs Norges langstrakte kyst er slående. Men i alt dette fine og vakre finnes det en bakside. Norge har vært utsatt for store brannkatastrofer, for eksempel bybrannene i Oslo, Bergen og framfor alt bybrannen i Ålesund (1904). Disse katastrofene har ikke bare ført med seg tragedier, men de har også ført med seg viktige erfaringer. De lover og forskrifter som ligger til grunn i den norske byggetradisjonen, er delvis oppbygd etter erfaringer og betraktninger som man har kunnet trekke fra blant annet store brannkatastrofer.

Der er opp gjennom de siste årene laget statistikker over antall omkomne som følge av branner. Denne statistikken viser at det i gjennomsnitt omkommer 65 mennesker per år. Dette gir en fordeling på ca 1,74 døde per 100.000 innbyggere<sup>[1]</sup>. Dette er høye tall som plasserer Norge langt oppe på listen over land som Norge ofte sammenlignes med.

I Stortingsmelding 15 (1991-1992) fremmer Stortinget et forslag<sup>[2]</sup> om at antall omkomne som følge av brann skal reduseres til 48 personer per år.

I dagens bygg Norge stilles det krav på dokumentasjon til prosjektering og oppføring av bygninger. Siden 1997 har Norge benyttet en såkalt funksjonsbasert byggeforskrift. Denne forskriften skiller seg fra tidligere forskrifter, ved at den stiller funksjonskrav isteden for ytelseskrav.

I praksis betyr dette at det finnes to alternative og likverdige måter å dokumentere tilfredstillende brannsikkerhet på. Dette ved bruk av pre-aksepterte løsninger i henhold til REN<sup>[3]</sup> (Ren teknisk veiledning). REN<sup>[3]</sup> er en veiledning til TEK<sup>[4]</sup> (Teknisk forskrift) til PBL (Plan- og bygningsloven<sup>[5]</sup>, eller ved analyse og beregninger. Analyse og beregninger brukes for å utarbeide funksjonsbaserte løsninger, som tilfredsstiller de funksjonskrav som stilles i TEK<sup>[3]</sup>.

Dersom en velger å følge de detaljkrav som stilles i REN<sup>[3]</sup>, anses det at de funksjonskrav som stilles i TEK<sup>[4]</sup>, automatisk er oppfylt. Løsningen kan således sies å være pre-akseptert.

Er det ønskelig å benytte en annen alternativ løsning som ikke er i henhold til de pre-aksepterte løsningene som er angitt i REN<sup>[3]</sup>, må det dokumenteres at de funksjonskrav som er gitt i TEK<sup>[4]</sup>, er tilfredsstilt. Kan dette dokumenteres, anses kravene til sikkerhet ved brann tilfredsstilt, og den alternative løsningen kan aksepteres.

Etter 1998 har ikke antallet omkomne i brann, kommet under 50 personer per år <sup>[6]</sup>

Mange ønsker nok at man hadde kunne oppfylt en 0-visjon, men det er nok like vanskelig å oppfylle denne, som det å oppfylle en 0- visjon i trafikken.

Kanskje man må akseptere at mennesker vil omkomme i brann. Dette er en vanskelig problemstilling som går på det etiske planet. Hvem skal bestemme hvor mange omkomne som aksepteres?

Det som er mest avgjørende er at ikke alle i samfunnet slutter å gjøre en innsats for å redusere antall branner og effekten av dem i så stor grad som mulig. De fleste branner skjer i dag i hjemmet. Derfor er informasjon til husholdninger et meget viktig forebyggende tiltak. Samfunnet taper hvert år store økonomiske verdier i branner, men dette kan ikke sammenlignes med tap av menneskeliv.

En brann utvikler seg gjennom ulike stadier. Tilvekstfasen; der brannen fortsatt er relativt liten, og den fremdeles kan bekjempes med enkle midler. Her er det viktig at de aktive tiltakene settes i gang i et så tidlig som mulig. Faren med en brann hvor aktive tiltak ikke fungerer, er at den får videreutvikle seg til en fullt utviklet brann. Når brannen har nådd dette stadiet er det avgjørende hvordan bygningskonstruksjonen oppfører seg.

Rapporten skal fordype seg i den branntekniske dimensjoneringen, som er en sentral del av de passive tiltakene ved brannteknisk dimensjonering. Det er lagt fokus på de Europeiske forstandardene, ENV, som er ute på høring. Det er meningen at disse Standardene skal få en sentral rolle i brannteknisk dimensjonering, og skal være gjeldene i alle de europeiske medlemslandene.

Rapporten omhandler videre forholdet mellom NS (Norske Standard) og ENV (Europeisk forstandard), hva som da skiller disse, og om det finnes klare likheter.

I tillegg til rapporten er det flere vedlegg. De fem første er en mer inngående beskrivelse av de fem ENV som omhandles i rapporten. Det sjette inneholder et beregningseksempel som benytter noen av de forskjellige beregningsnivåene nevnt i rapporten og vedlegg 1 til 5. Det syvende vedlegget er beregningsverktøy i form av Excel ark.

## 2 Sammenligning av Eurocodes og Norsk Standard

I dag er det hovedsakelig NS som benyttes ved brannteknisk dimensjonering av konstruksjoner.

NS fungerer som en prosjekterings standard. En standard som man kan basere sine beregninger på. Som en effekt av internasjonaliseringen, spesielt i forbindelse med EU (den Europeiske Union), har CEN (European committee for standardization) utarbeidet ENV som er ute på høring. Målet med ENV er at den etter hvert skal, helt eller delvis, erstatte medlemslandenes egne standarder. For Norge gjelder dette NS.

Når det dukker opp nye elementer på markedet, ligger det i den menneskelige natur å være litt skeptisk. Vi vil gjerne se nærmere på påvirkningen av en eventuell forandringen. Det er kanskje denne skepsisen som finner sted nå, når en ny europeisk standard skal erstatte de nasjonale standardene.

Der er derfor interessant å se på hva som skiller NS fra ENV.

Den delen av NS som beskriver brannteknisk dimensjonering av bærende konstruksjoner, og som er gjeldende i dag, har sin opprinnelse fra den siste delen av 70-tallet. Frem til nå er NS på flere områder utdatert. Det kan komme av at i takt med forskning rundt byggteknikk, dukker det stadig opp nye materialer og material sammensetninger, som til nå ikke er tatt høyde for i NS.

En av de store forskjellene, er at ENV-standardene gir et bedre grunnlag for en mer nyansert brannteknisk dimensjonering, enn den nåværende NS. I ENV-standardene tas det større hensyn til materialenes termiske og mekaniske egenskaper ved høye temperaturer. ENV er betydelig mer detaljert. Man kan se på enkelte elementer og kompliserte strukturer, og dette åpner for mer nøyaktige beregninger, som igjen fører til at man kan få kostnadsbesparelser på materialer. Med andre ord, hvis man kan redusere dimensjoner på materialer, reduserer man kostnadene tilsvarende. På grunn av dette, gir ENV en mer kost/nytte effektiv løsning. Dette forutsetter altså flere og mer nøyaktige beregninger, enn hva man kan gjøre ut ifra NS.

Ved bruk av NS, baseres dimensjoneringen på tabulerte data eller forenklete beregningsmetoder. Å basere beregninger på mindre spesifiserte verdier medfører ofte at konstruksjonene blir overdimensjonerte, som i sin tur betyr høyere kostnader.

I ENV presenteres det flere beregningsalternativ. Beregningsalternativene åpner for å anvende seg av mer spesifiserte verdier. Dette fører til at resultatene blir mer spesifisert for de aktuelle tilfellene.



Et eksempel som viser hvordan material verdier er ulike mellom NS og ENV, viser seg i ENV 1995-1-2, Brannteknisk dimensjonering av bærende tre konstruksjoner, og NS 3478, Brannteknisk dimensjonering av bygningskonstruksjoner. Begge tar utgangspunkt i forkullingshastigheten.

I ENV 1995-1-2 ser man at forskjellige tre materialer forkuller med ulike hastigheter. Mens i NS 3478 antas det at alle tre materialer forkuller like hurtig. Dette fører til at en får en mer nøyaktig forkullingshastighet ved beregninger i ENV 1995-1-2.

En likhet mellom ENV 1993-1-2, Brannteknisk dimensjonering av bærende stål konstruksjoner, og NS 3472, Prosjektering av stålkonstruksjoner, gjelder temperaturen i konstruksjonen. For beregninger i den forenklete beregnings metoden, tar man utgangspunkt i at temperaturen er lik gjennom hele tverrsnittet.

At temperaturen er lik gjennom hele tverrsnittet er ikke reelt i en brannsituasjon. Ønsker man å gjennomføre en mer spesifisert beregning, finns det måter å gjøre dette på i ENV. Avanserte beregnings metoder i ENV, tar med temperatur endringene i hele materialets tverrsnit, temperaturgradienter.

Det viser seg imidlertid at de fornyede utgavene av NS, tilnærmer seg ENV i stor grad. Det kan da stilles spørsmålstegn om hvorvidt det er noe poeng i å beholde en egen Norsk Standard, når det allerede finnes en internasjonal standard som åpner for at de enkelte brukerlandene kan benytte NAD (Nasjonale Applikasjons Dokumenter). Se kapittel 4.3.

Norsk Standard burde kanskje heller kalles NAD opp mot ENV. Det kan virke som det hersker en tvil om hvem av disse standardene som er styrende, og hvem som underligger hvem. Faktum er at disse fungerer side om side, og at ingen av dem står sterkere enn den andre.

### 3 Standardiseringsprosesser

Dagens samfunn er stadig i utvikling, spesielt har den internasjonale handelen av varer og tjenester økt. I Europa skyldes dette mye EU, som har som hovedmål å opprette og opprettholde fri flyt av varer og tjenester mellom medlemslandene. Dette påvirker også landene som står utenfor EU.

De aller fleste har nytte av standarder. På mange områder er standarder med på å gjøre vårt daglige liv enklere. Et godt eksempel på dette er standardene for papirformater. Uten at vi trenger å bekymre oss vet vi at når vi kjøper papir i A4-format så passer det i skriveren, telefaksen, kopimaskinen og i permene på kontoret. I tillegg er konvoluttene vi kjøper, tilpasset denne størrelsen<sup>[7]</sup>. Et annet eksempel kan være at det og finnes standarder på hvordan et spesifisert bygningselement kan pre-fabrikeres i Norge, og sendes til et annet land. Det kan der benyttes i en større sammenheng, uten at dette pre-fabrikerte elementet vil ha et annet format, eller funksjon enn de som kommer fra andre land.

På denne måten bidrar standarder også til å gjøre næringslivet mer effektivt. Dette fordi produksjon, samarbeid og samhandel blir enklere. Standarder motvirker samtidig tekniske handelshindringer. Fordi de kan brukes for å harmonisere de krav som myndighetene i forskjellige land stiller til produkter. Dette minsker bedriftenes omkostninger i forhold til prøving og godkjenning, samt at det gir bedriftene fordeler ved å kunne selge til et større marked.

Standarder er også til nytte for forbrukere, som i kraft av standardene får sikrere produkter. Det blir også flere produkter å velge mellom ettersom bedriftene får lettere tilgang til markedet, noe som igjen bør gi billigere produkter pga. økt konkurranse.

Gjennom de generelle krav myndighetene stiller til helse, miljø og sikkerhet i forbindelse med produkter og produksjon, og ved operasjonalisering av disse, får myndighetene og samfunnet også nytte av standardene.

For at en slik handel skal kunne fungere, er det nødvendig med felles regler innad i EU. Standarder er et sett med slike regler. En standard er et dokument som gir felles retningslinjer for hvilke krav som skal settes til et produkt (varer og tjenester) eller en arbeidsprosess. En standard inneholder hensiktsmessige spesifikasjoner, fremgangsmåter og terminologi. Eksempelvis kan standarder beskrive hvordan produkter bør fremstilles.

Innenfor europeiske standardisering finnes det organisasjoner. En av disse er CEN. Standardene som utarbeides i CEN benevnes EN. CEN har 19 medlemmer. Det er de nasjonale standardiseringsorganisasjonene i EU- og EFTA-landene samt Tsjekkia. NSF (Norges Standardiseringsforbund) er det norske medlemmet i CEN.

Selve standardiseringsprosessen utføres av tekniske komiteer og arbeidsgrupper, enten nasjonalt, europeisk eller internasjonalt på oppdrag fra CEN. Tekniske komiteer og arbeidsgrupper, består i hovedsak av personer som representerer ulike bedrifter, frivillige organisasjoner, myndigheter, forskningsinstitusjoner, prøvingslaboratorier, arbeidstaker- og arbeidsgiverorganisasjoner og forbrukerorganisasjoner. Deltagerne i prosessen kalles ofte ”frivillige eksperter”. Det er altså ikke ansatte i standardiseringsorganisasjonene som lager standardene. Standardiseringsorganisasjonene yter sekretariatsbistand til de tekniske komiteene og arbeidsgruppene.

Før standarder blir godkjent og tatt i bruk, sendes det ut et forslag på høring. Dette forslaget kalles en forstandard. I bygningsmessig sammenheng blir den europeiske forstandarden kalt ENV. ENV vil under høringstiden fungere som en hvilken som helst annen standard. Hensikten med dette er at de respektive landene skal ha mulighet til å gjøre seg kjent med ENV. Det er tenkt at ENV skal ha en gyldighet som en fullverdig standard i tre år. Etter to år forventes det tilbakemeldinger til CEN, i fra brukerne hvor de kommer med kommentarer, evt. forslag til forbedringer, endringer osv. Disse endringene vil da bearbeides i et år, før CEN godkjenner den endelige standarden. Den endelige standarden vil få navnet EN.

## 4 Generelt om Eurocodes

### 4.1 Målet med Eurocodes

Målet med Eurocodes er at det skal være en felles forståelse mellom de ulike CEN medlemmene. For at dette skal oppnås, er det ønskelig at ENV, og etter hvert EN benyttes av flest mulig land.

### 4.2 Oppbygning av Eurocodes

På bakgrunn av det fastsatte målet, har CEN tilpasset oppsettet på en slik måte at det enkelt kan benyttes av flere nasjonaliteter. I dag er det ni Eurocodes for brannteknisk dimensjonering ute på høring.

Disse er:

- EN 1991 Eurocode 1 Basis of design and actions on structures
- EN 1992 Eurocode 2 Design of concrete structures
- EN 1993 Eurocode 3 Design of steel structures
- EN 1994 Eurocode 4 Design of composite steel and concrete structures
- EN 1995 Eurocode 5 Design of timber structures
- EN 1996 Eurocode 6 Design of masonry structures
- EN 1997 Eurocode 7 Geotechnical design
- EN 1998 Eurocode 8 Design of structures for earthquake resistance
- EN 1999 Eurocode 9 Design of aluminium alloy structures

Hver enkelt Eurocode er delt inn i ”parts” deler. Som et eksempel er Eurocodes satt opp på følgende måte; EN 1993-1-1. EN 1993 viser at den omhandler dimensjonering av stål konstruksjoner, og 1-1 viser at den omhandler generelle regler og bygningsregler. Står det EN 1993-1-2, omhandler denne delen av ENV 1993, brannteknisk dimensjonering av stål, og 1-2 viser at den omhandler brannteknisk dimensjonering.

### 4.3 Nasjonale applikasjons dokumenter (NAD)

For at standardene skal kunne benyttes av flere nasjonaliteter med forskjellige kulturelle og geografiske forutsetninger er det i EN åpnet for NAD. Disse kalles og nasjonale anvendelses dokumenter.

NAD er dokumenter som vil gi de respektive myndigheten til medlemslandene, mulighet til å tilpasse standardene til sine lokale forhold.

Det vil alltid være geografiske forskjeller mellom land, som fører til at det kan være hensiktsmessig å benytte seg av mer lokale data/erfaring når en benytter generelle standarder. Kombinasjonen av EN og NAD vil tilføre landene et sett med standarder som er spesielt tilpasset deres eget land. Samtidig som landene har felles grunnlag som gjør internasjonalt samarbeid vesentlig enklere.

I dag finnes det ingen NAD i Norge.

## 5 Eurocodes

De fleste bygningskonstruksjoner er bygd opp av en rekke elementer. Slik som vegger, gulv og tak. Disse er ofte støttet opp med elementer slik som bjelker og søyler.

For å unngå kollaps av konstruksjoner i en eventuell brannsituasjon, må kombinasjonen av elementene og deres støtte elementer, opprettholde den dimensjonerte bærende funksjonen under hele brannforløpet.

Ved mange enkle konstruksjoner, vil svikt i ett enkelt element føre til at hele konstruksjonen kolliderer - en domino effekt. Svikt i elementer oppstår hvis anvendt last blir større enn lastkapasiteten på konstruksjonen, under hele brannforløpet. Ved mer komplekse konstruksjoner, kan konstruksjonen holde seg inntakt selv om flere elementer mister sin lastbærende evne. Når individuelle elementer utvider seg under branneksposering, påvirker andre elementene.

Det generelle målet med brannbeskyttelse er å begrense risikoen for individer, samfunnet, nabobebyggelse, og hvor påkrevd, direkte eksponert eiendom i branntilfelle. Derav er det kommet visse kriterier til konstruksjoner mhp. brann:

- Bæreevnen til konstruksjonen blir antatt for en spesifisert tid, ”R” kriteriet
- Utviklingen og spredningen av brann og røyk skal være begrenset, ”E” og ”I” kriteriene
- Spredningen til nabo bygg skal være begrenset.
- Beboere eller ansatte kan forlate bygget på en sikker måte eller bli reddet på andre måter.
- Sikkerheten til redningspersonell skal ivaretaes.

Det benyttes følgende grunnlag for klassifisering:

”R” kriteriet: Bæreevne, dette forteller at elementer skal bevare sin bærende funksjon igjennom den fastsatte tiden. Eksempel: R 60, Opprettholde sin bæreevne i 60 minutter under standard brann eksponering.

”E” kriteriet: Integritet, dette forteller at det ikke skal slippe gasser eller flammer igjennom sprekker/åpninger i elementet under den fastsatte tiden. Eksempel: EI 60, opprettholde sin integritet, og sin isolasjons evne (se I kriteriet) i 60 minutter under standard brann eksponering

”I” kriteriet: Isolasjon, dette forteller oss at den ueksponerte overflaten ikke skal oppnå antennelses temperatur. Overflate temperaturen på den ueksponerte siden skal heller ikke kunne antenne noe av det som befinner seg på den siden av elementet. EI 60, opprettholde sin integritet, og sin isolasjons evne (se E kriteriet) i 60 minutter under standard brann eksponering.

”Structural Eurocodes” tar for seg spesifikke aspekter av passiv brannbeskyttelse, ved dimensjonering av hele konstruksjoner eller deler av konstruksjoner, for dimensjonering av tilstrekkelig lastbærende kapasitet og for å begrense brannspredning.

Krav til funksjoner og nivåer for utførelse blir vanligvis spesifisert av myndigheter i de respektive landene.

Hvor brannsikkerheten innen passiv og aktiv brannbeskyttelse er dokumentert, vil myndighetskravene bli mindre beskrivende, og kan tillate alternative strategier og løsninger.

Eurocodes er et komplekst sett med regler og applikasjoner. For å kunne benytte disse, må de ses i sammenheng med hverandre. Det er ikke bare det at de forskjellige delene innenfor hver Eurocode avhenger av hverandre, men de avhenger også av de andre Eurocodes

Hver enkelt del av Eurocode inneholder tillegg (kalt Annex i Eurocode), som beskriver metoder for utregning av forskjellige emner innen brann. Noen er opplysende (informative), og andre er veiledende (normative).

Denne oppgaven er begrenset til de branntekniske delene av ENV 1991-1995, det vil si at denne oppgaven fokuserer på Del 1-2 av ENV 1992-1995 og del 2-2 til ENV 1991.

## 5.1 Laster på konstruksjoner ved brann, ENV 1991-2-2

### 5.1.1 Generelt

Dette kapittelet tar for seg dimensjonering av konstruksjoner som utsettes for branneksplosjon. Videre beskrives ulike verktøy til beregning av laster på konstruksjoner. Beregningene brukes for å bekrefte brannegenskapene i forhold til styrken til konstruksjonene.

Ved dimensjonering av konstruksjoner, må en ta hensyn til ulike laster for å unngå nedbøying av konstruksjoner. De aktuelle lasttypene som tas hensyn til er:

- Egenlast er en permanent last, slik som tyngden til konstruksjonen.
- Nyttelast er belastninger fra personer og vanlig inventar som møbler osv.
- Snølast er tyngden fra snølaget på tak og liknende.
- Vindlast er vindtrykk på yttervegger og takflater. Disse blir også kalt naturlaster.

Dimensjonering av brann på konstruksjoner, innebærer å bruke temperatur analyse og konstruksjonsanalyse på laster.

Avhengig av representasjonen av de termiske lastene ved dimensjonering, skilles det mellom følgende prosedyrer:

- Nominell tid-temperaturkurve som anvendes for en tidsperiode. Her er konstruksjoner er dimensjonert, ved at (preskriptive) regler overholdes. Samt bruk av tabulerte data eller beregningsmodeller.
- Parametrisk tid-temperaturkurve, som er beregnet på grunnlag av fysiske parametere, og for dimensjonerende konstruksjoner ved hjelp av beregningsmodeller.

Påvisning av brannmotstand kan være relatert til:

- Tid, ved å verifisere at:  $t_{fi,d} > t_{fi,req}$   
Her må den dimensjonerte tiden for den bærende konstruksjonen være større enn tiden for branneksplosjon
- Styrke, ved å verifisere at:  $R_{fi,d,t} > E_{fi,d,t}$   
Her må lastkapasiteten være større enn lastpåkjenningen
- Temperatur, ved å verifisere at:  $\theta_d < \theta_{cr,d}$   
Her må den dimensjonerte tiden, som konstruksjoner skal tåle, være større enn den kritiske temperaturen som elementet tåler.

For å kunne beregne brannpåkjenninger på bygningskonstruksjoner, må en kjenne til brannbelastningen i brannrommet. Brannbelastningen bestemmes ut i fra hvilke type materialer som brenner.



## 5.1.2 Innhold i ENV 1991-2-2

ENV 1991-2-2 tar for seg laster på konstruksjoner som blir utsatt for brann, og hvordan en skal beskytte seg på best mulig måte mot dette fenomenet når det oppstår. ENV 1991-2-2 tar for seg termiske og mekaniske laster, ved hjelp av ulike temperatur analyser og beregningsmetoder for brannbelastning og tid-temperaturkurver.

ENV 1991-2-2 tar for seg både brannbelastning med, og uten aktiv brannbeskyttelse.

### 5.1.2.1 Situasjoner for branndimensjonering

I ENV 1991-2-2 defineres ulykkessituasjon som tilfeller hvor alvorlige branner forårsaker skader på konstruksjoner. På grunnlag av en risikoanalyse, vurderes de aktuelle dimensjonerende situasjonen og tilsvarende ulykkeslast ved brann.

Etter ENV 1991-2-2 antas det som usannsynlig at flere uavhengige ulykkeslaster inntreffer samtidig. For eksempel anses det som lite sannsynlig at ulykkeslasten brann og ulykkestilfellet snø opptrer samtidig. Ulykkeslasten snø er da definert som ekstraordinære snømengder som påvirker konstruksjonen

For konstruksjoner hvor det er stor risiko for at det oppstår brann som følge av andre direkte eller indirekte ulykkeslaster, bør denne risikoen tas hensyn til ved bestemmelse av den totale sikkerheten.

Brannceller skal dimensjoneres slik at de forhindrer brannspredning til andre brannceller, innen gitt tid. Det er tilstrekkelig at kun en branncellen blir påført en dimensjonerende brann. Dimensjonerende branner skal representere fullt utviklet brann innenfor et angitt område.

For å bestemme branneksponeering på konstruksjonsdeler, er posisjonen til den dimensjonerende brannen avgjørende.

Det er tilstrekkelig med dimensjonering for branneksponeering fra en side om gangen i brannceller, når konstruksjonsdelens brannskillende funksjon skal påvises.

For utvendige konstruksjonsdeler bør det tas hensyn til branneksponeering gjennom tak eller fasader. For brannskillende yttervegger bør en ta hensyn til branneksponeering fra innsiden (av den aktuelle branncellen), og alternativt fra utsiden (fra andre brannceller)

Det er ikke nødvendig å dimensjonere bærende konstruksjoner for tilstander etter brann. Ved dimensjonering for en påkrevd standard brannmotstand, er det heller ikke nødvendig å ta hensyn til ytelsen til bærende konstruksjoner etter denne perioden.

### 5.1.2.2 Temperatur analyse

Ved å bruke temperatur analyse i henhold til ENV 1991-2-2, må det tas hensyn til dimensjonering av bærende konstruksjoner, del konstruksjoner eller enkle konstruksjoner. Dette for å finne netto varmestrøm,  $h_{net}$ , på konstruksjonens overflaten, som gjøres ved hjelp av tid-temperaturkurver.

Netto varmestrøm,  $h_{net}$ , er en temperaturfordeling som kalles termiske laster. Netto varmestrømmen,  $h_{net}$ , bestemmes på grunnlag av termisk stråling, og konveksjon til og fra brannmassene.

For å bestemme den dimensjonerende netto varmestrøm,  $h_{net,d}$ , er det nødvendig å beregne netto varmestrøm for stråling,  $h_{net,r}$ , og netto varmestrøm for konveksjon,  $h_{net,c}$ . Men for at disse skal bestemmes, må gasstemperaturen i rommet,  $\theta_g$ , beregnes med hensyn på tid. Disse gasstemperaturene kalles nominelle tid-temperaturkurver, og er;

- standard tid-temperaturkurve
- ekstern tid-temperaturkurve
- tid-temperaturkurve for hydrokarbonkurve
- parametrisk tid-temperaturkurve

De tre første tid-temperatur analysene, er konservative analyser. I disse tas det ikke hensyn til ventilasjon, størrelsen på brannrommet, type og mengde materialer i rommet, osv. Derimot tar parametrisk tid-temperaturkurve hensyn til disse faktorene, noe som blir beskrevet nærmere i Vedlegg 1 avsnitt 1.1.

### 5.1.2.3 Tilleggene

ENV 1991-2-2 består av tillegg (Annex). Disse tilleggen beskriver ulike beregningsmetoder, for bruk til brannteknisk prosjektering.

#### Tillegg A – Parametrisk branneksplosjon

Dette tillegget er informativt. Den beskriver hvilke hensyn som skal tas til følge ved beregning av netto varmestrøm,  $h_{net}$ , slik som brannbelastning, ventilasjonsforhold og termiske egenskaper.

Dette tillegget beskriver også litt om de andre tilleggene som gis i ENV 1991-2-2.

#### Tillegg B – Parametrisk tid-temperaturkurve

Dette tillegget brukes til analyse av tid-temperaturkurve i en branncelle. Denne beregningsmetoden er en detaljert analyse, som tar hensyn til brannbelastning i rommet, vertikale åpninger og branncellens størrelse. Den kan kun benyttes for brannceller som har et gulvareal opptil 100 m<sup>2</sup>, og en høyde på maksimalt 4 meter.

Det blir også tatt hensyn til branncellens omsluttende bygningsdeler. Om veggene består av ett materiallag, forskjellige materiallag, eller forskjellige materialer i vegger, tak og gulv. For nærmere beskrivelse av regneverktøyet, refereres det til Vedlegg 1 avsnitt 1.3.

### Tillegg C – Termiske laster for utvendige konstruksjonsdeler

Dette tillegget benyttes for utregning av:

- Maksimaltemperatur i en branncelle
- Størrelse og temperaturer på flammer fra åpninger (vinduer)
- Strålings- og konveksjonsparametere

Ved å finne de tre punktene over, tar tillegget hensyn til om det er tvungen trekk eller ingen tvungen trekk tilstede i branncellen.

For nærmere beskrivelse av regneverktøyet, refereres det til Vedlegg 1 avsnitt 1.4.

### Tillegg D – Spesifikk brannbelastning

Dette tillegget brukes til utregninger av spesifikk brannbelastning, som kan være en dimensjonerende verdi basert på målinger, eller en nominell verdi basert på forskriftskrav til brannmotstand.

For nærmere beskrivelse av regneverktøyet, refereres det til vedlegg 1 avsnitt 1.5.

### Tillegg E – Ekvivalent branneksponeeringstid

Dette tillegget brukes til utregninger av hvor lenge de ulike materialene vil tåle den gitte branneksponeering.

Den baseres på bruk av tabulerte data eller forenklete regler for dimensjonering av konstruksjonsdeler, som i sin tur baseres på standard branneksponeering.

Hvis spesifikk brannbelastning angis uten at det tas hensyn til forbrenningsegenskapene, bør denne fremgangsmåten begrenses til brannceller med en brannbelastning hovedsakelig bestående av celluloseprodukter.

For nærmere beskrivelse av regneverktøyet, refereres det til vedlegg 1, avsnitt 1.6.

## 5.2 Branntekniske dimensjonering av betong, ENV 1992-1-2

Dette underkapittelet tar for seg brannteknisk dimensjonering av betong. Hvordan betong påvirkes av brann, hvordan den kan beskyttes, og om de forskjellige vanskelighetsnivåene som benyttes for beregning av styrke under brann.

Betong består av sementbaserte bindingsmiddel, vann, bergartsmaterial og eventuelle tilsetnings elementer, kalt aggregater. Når disse materialene blandes, får man en masse som etter hvert stivner og får en betydelig holdfasthet.

Betong er et lett håndterlig bygningsmateriale. Den blir mest benyttet i større bygg. Betong har sine fordeler i at den enkelt kan formes. Den kan støpes i ferdige (pre-fabrikerte) elementer, eller støpes direkte på bygningsstedet.

### 5.2.1 Material egenskaper ved brann

Betong er tradisjonelt ansett som det beste konstruksjonsmaterialet når det gjelder brannmotstand. Betongens termiske egenskaper, dvs. evne til å absorbere varme ved temperaturpåvirkning, danner hovedgrunnlaget for dette.

Betongens termiske egenskaper uttrykkes ved varmeledningsevne og spesifikk varmekapasitet. Et materials varmeledningsevne forteller hvor mye, og hvor fort et material tar opp varme. Høy varmelednings evne betyr at materialet hurtig opptar varme som blir tilført. Varmekapasitet beskriver altså evnen materiale har til å oppta varme. Fordi temperaturen blant annet varierer under brann, er betongens evne til å akkumulere varme av stor betydning. Blant annet representerer fordampningen av betongens fuktinnhold, et varmesluk som forsinker varmeinntregningen i tverrsnittet. En annen grunn til dette, er at betongen inneholder betydelige mengder sement. Sement har en endotermisk funksjon som bidrar til reduksjon av temperatur økningen i betongen. Bæreevne og mekanisk motstandsevne påvirkes forholdsvis lite ved høye temperaturer<sup>[8]</sup>.

Temperatur inntregningen som funksjon av tid beregnes teoretisk, ut fra gitt geometri og de termiske materialparametrene.

Armeringsstålets betydning for varmeinntregning kan normalt neglisjeres<sup>[9]</sup>.

De material egenskapene som er avhengige av temperatur, må tas hensyn til ved brannteknisk dimensjonering.

Material egenskapene ved normaltemperatur vurderes ut i fra ENV 1992-1-1.

Verdier for reduksjonen av den karakteristiske trykk styrken til betong, og av den karakteristiske styrken på armeringsstål gis i ENV 1992-1-2

Disse reduserte verdiene kan benyttes i forenklete beregningsmetoder. De kan og benyttes til å evaluere den kritiske temperaturen til armeringen, når det benyttes tabulert data for kritiske temperaturer andre enn 500°C.

Material modellene gitt i ENV 1992-1-2 avsnitt 3.2 for betong, og avsnitt 3.3 for stål, burde bare tilføres for varmerater tilsvarende de som inntreffer under standard branneksponeering, frem til tiden hvor maksimal temperatur inntreffer. Det er tillatt å bruke andre material lover (f.eks parametriske branner) hvis disse løsningene er innenfor det som er bevist med eksperimenter. Standard brann forhold er definert mellom 20°C og 1200°C. Tilhørende egenskaper er og definert mellom de samme verdiene.

## 5.2.2 Svakheter

Betong tåler dårlig strekk påkjenning, og er derfor ofte armert med stål. Armeringsstålet er ofte svakheten. Når stålet blir utsatt for høye temperaturer vil flytgrensen tilslutt nås, og armeringen kan miste sin funksjon, noe som videre fører til svikt. Armeringsstålet vil under oppvarming utvide seg, for mer informasjon se kapittel 5.3.2, noe som kan føre til at stålet ”sprenger” seg ut av betongen. Dette kalles avskalling.

Betong beskyttes normalt med å øke armeringsdybden. Armeringsdybden er hvor dypt armeringen ligger under den eksponerte overflaten. Andre måter er å isolere betongen med andre materialer som har lav varmeledningsevne, f.eks gips eller lignende.

## 5.2.3 Beregningsmetoder i ENV 1992-1-2

Det skiller mellom tre beregningsmetoder for betong:

- Tabulerte data – detaljering i følge anerkjente dimensjoneringsløsninger. Dette er den enkleste metoden. De fleste data kan hentes fra generelle tabeller.
- Forenklede beregningsmetoder for spesifikke elementer. Denne metoden er litt mer kompleks enn den foregående. Også her benyttes verdier som hentes fra tabeller, men disse verdiene modifiseres for å passe bedre til de spesifikke elementene de skal benyttes i.
- Generelle beregningsmetoder for å simulere oppførselen til konstruksjonselementer, del-elementer eller hele konstruksjoner. For å kunne gjennomføre en beregning etter denne metoden kreves det enda mer spesifiserte data. Dette er en mer krevende metode.

Avskalling i forbindelse med temperatur endringer, representerer et alvorlig problem for brannekspontert betong. Det er derfor nødvendig å hindre en slik avskalling.

I mangel av mer nøyaktig data kan eksplosiv avskalling antas ved å bruke Figur A.18<sup>[10]</sup>. For mer nøyaktige antagelser bør man ta hensyn til fuktinnhold, type aggregat, tettheten til betongen og varme gradienter.

Der hvor lokal erfaring viser at sannsynligheten for eksplosiv avskalling er høyere enn de som er gitt i Fig A.18<sup>[10]</sup>, bør relevante dokumenter benyttes for å bestemme elementets størrelse.

### 5.2.3.1 Tabulerte data

I mangel av mer nøyaktige metoder for strukturell branndimensjonering (f.eks generelle beregningsmetoder, forenklete beregningsmetoder) bør man referere til de tabulerte dataene som er gitt i ENV 1992-1-2. Tabellene gjelder kun ved standard branneksposering. Tabellene er utviklet på empirisk basis, bekreftet av erfaring og teoretisk evaluering av tester. Derfor er disse dataene konservative antagelser, når det omhandler vanlige konstruksjons elementer. Mer spesifikke tabulerte data kan finnes i produkt standardene for noen enkelte betong produkter.

Ved bruk av tabulerte data tar man hensyn til det beskyttende lag. Det vil si for tilfeller hvor armeringsdybden,  $a$ , er for liten, kan det kompenseres med beskyttende lag.

### 5.2.3.2 Forenklete metoder

Forenklete beregningsmetode beskriver den maksimale lastbærings kapasiteten på et oppvarmet tverrsnitt. Metoden gjelder kun for strukturer utsatt for standard branneksposering frem til den oppnår maksimal gasstemperatur.

Metoden gjelder også for beregning av den maksimale motstanden ved en spesifikk tid, for en hvilken som helst branneksposering. Hvis de temperatur profilene som korresponderer med eksponeringen er kjent eller beregnet. I tillegg må korrekte data på material egenskaper korrespondere med de som er benyttet.

ENV 1992-1-2 gir temperatur profiler og material data for standard brann eksponering frem til tiden hvor maksimal gasstemperatur oppnås.

Prosedyren går ut på å:

- Bestemme temperatur profilen til tverrsnittet. Det vil si hvor dypt varmen trenger inn i betongen som en funksjon av tid. Temperaturen varierer med dybden.
- Redusere betong tverrsnittet. Det vil si styrken, og på kort sikt og elastisitetsmodulen til betongen og armeringen. Dette fordi det antas at disse mister sin styrke, når de får viss temperatur.
- Beregne den maksimale lastbærende kapasitet til strukturen med det reduserte tverrsnittet, i følge reglene gitt i ENV 1992-1-1.

### 5.2.3.3 Generelle metoder

Generelle beregningsmetoder brukes for individuelle elementer, del-konstruksjoner eller for hele konstruksjoner og alle typer tverrsnitt.

Generelle beregningsmetoder fremskaffer realistiske analyser av strukturer som er eksponert for brann. De baseres på grunnleggende fysisk oppførsel, som leder til en pålitelig tilnærming av den forventede oppførselen til konstruksjonselementet i løpet av en brannsituasjon.

Generelle beregnings metoder inkluderer separate undermodeller for å bestemme:

- Utviklingen og fordelingen av temperaturen innenfor strukturelle elementer (termisk reaksjons modell).
- Mekaniske oppførsel til strukturen eller noen deler av den (mekanisk reaksjons modell).

Generell beregnings metode kan brukes sammen med alle temperaturkurver hvis material egenskapene er kjent for den relevante temperatur – variasjonsbredden.

## 5.3 Brannteknisk dimensjonering av stål, ENV 1993-1-2

Dette underkapittelet tar for seg brannteknisk dimensjonering av stål. Hvordan stål påvirkes av brann. Hvordan den kan beskyttes, og de forskjellige vanskelighetsnivåene som benyttes for beregning av styrke under brann.

Stål er en smibar legering som består av sammensmeltet jern, kull og andre legerings tilsetninger. Ut ifra hvilke legeringer en velger, kan en få stål som er godt egnet til bærende konstruksjoner.

Stål defineres som et material med jern som hovedbestanddel, fremstilt gjennom en smelte prosess, med et kull innhold som sjelden overstiger 2%. Innholdet av kull er primært avgjørende for i hvilken omfatning stålet er smibart i varm tilstand. Smibarheten avtar med økende kull innhold.

Stålets betydning for vår sivilisasjon er av stor betydning. Uten stålets egenskaper hadde den bygningstekniske utviklingen ikke kommet så langt som den har kommet i dag. Grunnen til dette er nok at bruken av stål er basert på en gunstig kombinasjon av stålets styrke, formbarhet, sveisbarhet og pris.

Stål har et bredt anvendelsesområde innen bygningssektoren. En av grunnene til dette er at en kan få stålprofiler i flere varianter.

Stål tåler branneksponeering veldig dårlig. Dette pga. at stålelementer har forholdsvis lite tverrsnitt og har høy termisk ledningsevne. Økningen av stål temperaturen avhenger av effekten fra brannen, og arealet av stål konstruksjonen som blir utsatt, og hva og hvor mye brannbeskyttende materiale som er benyttet på stålet.

### 5.3.1 Materialelegenskaper ved brann

Stål er ubrennbart og bidrar ikke til økt brannbelastning i rommet, som f.eks tre gjør. Men varmeledningsevnen i stål er høy og man får en hurtig temperatur økning og spredning i stål profilen.

Økende temperatur i stål profilen gir en utvidning i profilens langsgående retning.

Holdfastheten reduseres i den bærende profilen ved hurtige og høye temperaturforandringer. Redusert holdfasthet og store deformasjoner som følge av økt temperatur, gir kollaps av den bærende profilen, som i sin tur kan føre til skader på tilhørende konstruksjoner.



Viktige faktorer som ligger til grunn for stålets oppførsel i en brann situasjon er:

- Temperatur økninger i stålkonstruksjoner.
- Lastforholdene fordelt over konstruksjonen.
- De mekaniske begrensningene til stålet.
- Geometri og design av strukturen.

### 5.3.2 Svakheter

Stål har en mye høyere varmeledningsevne, enn de fleste andre konstruksjonsmateriale. Når temperaturen øker i stålprofilen, fører dette til reduksjon av stålets styrke og stivhetens egenskaper. Reduksjon av stålets styrke og stivhetsegenskapene kan føre til deformasjon og svikt. Ved de samme temperaturøkningene vil stålet ekspandere/utvide spesielt i langsgående retning.

For å beskytte stålkonstruksjonen mot direkte branneksponeering, bør konstruksjonen isoleres med et materiale som har en lavere varmeledningsevne. Dette leder videre til at man får en tregere oppvarming av stålprofilen, og det tar lengre tid før stålkonstruksjonen har oppnådd sin kritiske temperatur. Hvis denne kritiske temperatur oppnås, innebærer dette kollaps av konstruksjonen.

De vanligste metodene er å kle inn stålprofilen med ulike brannbeskyttende materialer, slik som gipsplater, myke og harde plater, maling, sprøyteprodukter. Videre kan man støpe inn, eller fylle stålprofilen med betong.

Ved bruk av stålprofiler som ikke bare skal ha en bærende funksjon, men og ha en ren arkitektonisk effekt kan det brukes vannfylte stålprofiler, der vannet har en kjølede effekt. En annen måte er å bruke brannmalning. På den måten forsinkes temperatur økningen.

Tykkelsen på isolasjonen rundt stålprofilen bestemmes ut i fra beregninger. Tykkelsen som projekteres gjennom beregning, har en klar sammenheng mellom hvor stor brannbelastningen er i det aktuelle brannrommet.

### 5.3.3 Beregningsmetoder i ENV 1993-1-2

ENV 1993-1-2 tar hensyn til den virkelige temperatur utviklingen og fordelingen i stålprofilen. I beregninger etter ENV 1993-1-2, skilles det mellom tabulertedata, enkle - og avanserte beregningsmetoder.

I de ulike beregnings metodene legges det vekt på om profilen er isolert eller uisolert, og hvilke sider profilen er eksponert på.

Stål har en høy tetthet. For beregninger i ENV 1993-1-2 er tettheten til stål definert som  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

#### 5.3.3.2 Tabulerte data

Tabulerte data finnes til en hvis utstrekning. Hvis man vet utnyttelses graden og profilmotstanden til en konstruksjon, kan man benytte tabell og få den kritiske ståltemperaturen for en stålprofil.

Ved bruk av de mest vanlige konstruksjons løsningene, kan man benytte tabulerte verdier fra de respektive leverandørene.

#### 5.3.3.3 Forenklede metoder

De forenklede beregnings metodene, går hovedsaklig ut på at hvis temperaturen blir for høy i stålprofilen, fører dette til at fasthetsegenskapene reduseres.

De metoder som er anngitt i forenklet beregnings modell:

- Klassifisering av tverrsnitt.
- Motstand.
- Kritisk temperatur.

Forenklede beregnings metoder vil gi et konservativt resultat i forhold til avansert beregnings metode.

#### 5.3.3.4 Avanserte metoder

Beregninger med avansert beregnings metoder, er mer omfattende og tidskrevende, men gir beregningene en større grad av nøyaktighet.

Avanserte beregningsmetoder kan benyttes til individuelle konstruksjoner, del konstruksjoner eller for hele konstruksjoner, og den kan benyttes for alle typer tversnitt.

Data som fastsettes gjennom avanserte beregningsmetoder, skal fremskaffe en realistisk analyse av konstruksjoner eksponert for brann.

De skal baseres på fundamental fysisk oppførsel på en slik måte, at de fører til en troverdig tilnærming av den forventede oppførselen det relevante konstruksjonselementet vil ha under en brann situasjon.

##### **Termisk respons:**

- Avanserte beregnings metoder for termisk respons skal baseres på anerkjente prinsipper, og antagelser av varme transport teorier.
- Innvirkningene av fuktinnholdet kan ses bort ifra i brannbeskyttende

##### **Mekanisk respons**

Avanserte beregnings metoder for mekanisk respons baseres på anerkjente prinsipper, og antagelser av teorien om strukturell mekanikk. Samt ta hensyn til forandringene av mekaniske egenskaper etter temperatur.

Der hvor det er relevant, skal den mekaniske responsen for metoden ta hensyn til:

- Den kombinerte effekten av mekaniske – og termiske påvirkninger og geometriske unøyaktigheter.
- De temperatur avhengige mekaniske egenskapene til materialet.
- Geometriske ikke – lineære effekter.
- Effekten av ikke – lineære material egenskaper, inkludert de fordelaktige effektene av belastninger og avlastinger på stivheten til konstruksjonen.

Man må forsøke å begrense deformasjon så mye som mulig, for å forsikre seg om at stabiliteten er opprettholdt mellom alle delene av konstruksjonen.

## 5.4 Brannteknisk dimensjonering av betong/stål, ENV 1994-1-2

I dette underkapittelet skal det ses nærmere på kombinasjonen betong og stål. Hvordan kombinasjonen betong og stål påvirkes av brann, og hvordan det kan beskyttes. Det nevnes og de forskjellige nivåene som er benyttet til beregning av styrke under brann.

Betong konstruksjoner er kjent for å tåle branneksponeering bra. Dette fordi betong ikke er brennbart og har lav termisk ledningsevne. Grunnen til at betong har lav termisk ledningsevne, er blant annet at den inneholder sement. Sementen får en endotermisk funksjon, som medfører reduksjon av temperatur økningen i betong.

Betong inneholder armeringsstål. Dette fordi betong har dårlig strekkstyrke, og strekkraftene i konstruksjonen blir tatt opp av stålstenger, altså armeringsstål.

For at betong elementer skal beholde sin bærende funksjon under et brannforløp, blir armeringsstålet beskyttet av den varmeisolerende betongen, slik at resttverrsnittet til elementet ikke mister sine bærende egenskaper<sup>[11]</sup>.

For mer informasjon om betong, refereres det til kapittel 5.2

Når stålkonstruksjoner utsettes for brann, får stålet høye temperaturer. Dette fører til at styrken og stivheten til stålet blir redusert. Med hensyn på den anvendte lasten og hvordan stålet er støttet opp, kan dette føre til deformasjon og svikt. Økningen av stål temperaturen, avhenger av effekten fra brannen og arealet av stålkonstruksjonen som blir utsatt for brann. Hvilke type og hvor mye brannbeskyttende materiale som er benyttet på stålet.

Stål tåler branneksponeering dårlig. Dette pga. at stålelementer har forholdsvis lite tverrsnitt og høy termisk ledningsevne. Stål er stort sett dekket av brannbeskyttende materialer. Dette fordi stålkonstruksjoner skal opprettholde sin bærende funksjon under branneksponeering<sup>[11]</sup>.

For mer informasjon om stål, refereres det til kapittel 5.3

Hvis de to materialene kombineres, kan man utnytte begge materialenes gode egenskaper. Fordelen ved begge er at de har god trykkstyrke.

Ulempene materialene har hver for seg oppveies av hverandre. Betongens dårlige strekkstyrke reduseres pga stålets gode strekkstyrke, og stålets høye termiske ledningsevne reduseres med betongens isolerende funksjon.

Når en da kan benytte disse egenskapene sammen kan man optimalisere konstruksjonen. Da får de mindre dimensjoner på bærende konstruksjoner, enn hvis en benytter dem hver for seg. Dette kan videre føre til en rimeligere konstruksjon. I tillegg gir kombinasjonen bra holdbarhet i korroderende miljøer<sup>[11]</sup>.

## 5.4.1 Beregningsmetoder i ENV 1994-1-2

ENV 1994-1-2 omhandler dimensjonering av konstruksjoner bestående av sammensatt stål og betong under branneksponeering, og skal brukes i sammenheng med ENV 1991-2-2.

ENV 1994-1-2 tar kun for seg passivbrannbeskyttelse. Den tar og hensyn til at søyler blir branneksponeert fra alle sider, mens bjelker blir branneksponeert fra kun tre sider.

ENV 1994-1-2 tar for seg følgende beregningsmetoder:

- Tabulerte data – detaljering i følge anerkjente dimensjonerte løsninger. Dette er den enkleste metoden. De fleste data kan hentes fra generelle tabeller.
- Forenklete beregningsmetoder for spesifikke elementer. Denne metoden er litt mer kompleks enn den foregående. Også her benyttes verdier som hentes fra tabeller, men disse verdiene modifiseres for å passe bedre til de spesifikke elementene de skal benyttes i.
- Generelle beregningsmetoder for å simulere oppførselen til konstruksjonselementer, del elementer eller hele konstruksjoner. For å kunne gjennomføre en beregning etter denne metoden kreves det enda mer spesifiserte data. Dette er en mer krevende metode.

### 5.4.1.1 Tabulerte data

Bruken av tabulerte data begrenser seg til beregninger av individuelle konstruksjonselementer, som er utsatt for direkte branneksponeering over deres fulle lengde. Ved standard branneksponeering skal det tas hensyn til termiske laster, og temperaturfordelingen antas å være lik langs hele lengden.

Tabulerte data gir konservative resultater sammenliknet med relevante tester eller avanserte beregningsmetoder.

Denne beregningsmetoden tar for seg:

- Sammensatte stålbjelker, delvis dekket med betong, Fig 1.5, ENV 1994-1-2.
- Sammensatte søyler av stål, totalt dekket av betong, Fig 1.6, ENV 1994-1-2.
- Sammensatte søyler av stål, delvis dekket av betong, Fig 1.7, ENV 1994-1-2.
- Sammensatte søyler laget av hule seksjoner fylt med betong, Fig 1.8, ENV 1994-1-2.

Der hvor tabulert data ikke strekker til, skal en bruke avanserte beregningsmetoder eller tester som er utført på de aktuelle konstruksjonselementene.

### 5.4.1.2 Forenklete metoder

Bruken av forenklete beregningsmetoder begrenser seg til beregninger av individuelle konstruksjons elementer, som er utsatt for direkte branneksponeering over deres fulle lengde. Ved standard branneksponeering skal det tas hensyn til termiske laster, og temperaturfordelingen antas å være lik langs hele lengden.

Forenklete beregningsmetoder gir konservative resultater sammenliknet med relevante tester, eller avanserte beregningsmetoder.

Denne beregningsmetoden tar for seg:

- Ubeskyttede sammensatte dekker.
- Sammensatte bjelker av stål, ikke dekket av betong, Fig 1.2, ENV 1994-1-2.
- Sammensatte bjelker av stål, delvis dekket av betong, Fig 1.5, ENV 1994-1-2.
- Stålbjelker, delvis dekket av betong, Fig 1.3, ENV 1994-1-2.
- Sammensatte søyler.

Der hvor de forenklete beregningsmetodene ikke strekker til, skal en bruke avanserte beregningsmodeller eller tester som er utført på de aktuelle konstruksjons elementene.

### 5.4.1.3 Avanserte metoder

Avanserte beregnings metoder, skal fremskaffe en realistisk analyse av konstruksjoner som er utsatt for brann, hvor beregningene skal reflektere virkeligheten mest mulig.

Beregningsmetoden brukes til individuelle elementer, del-konstruksjoner og hele konstruksjoner. Metoden brukes og til å bestemme utviklingen og fordelingen av temperaturen i konstruksjonselementer, i tillegg til den mekaniske oppførselen til hele konstruksjonen eller deler av den.

Den brukes når informasjon om spenning, belastning, deformasjon eller temperatur er påkrevd. Samt at den kan brukes sammen med hvilken som helst tid-temperaturkurve.

Avansert beregningsmetode baseres på anerkjente prinsipper, og antakelser av teorien om varmetransport.

Den termiske responsmodellen skal ta hensyn til:

- Relevante termiske laster spesifisert i ENV 1991-2-2
- Variasjonen i de termiske egenskapene til materialene

Påvirkningen av beskyttende materialets fukt innhold, og eventuell transport til betongen kan neglisjeres fukt innhold.

Avansert beregningsmodell for mekanisk respons skal baseres på anerkjente prinsipper, og antakelser fra teori om temperatureffekter for konstruksjons mekanikk.

Der hvor det er relevant, skal den mekaniske responsen ta hensyn til:

- Kombinert effekt for mekaniske – og termiske laster og geometriske feil.
- Temperatur avhengige mekaniske egenskaper for materialer.
- Geometrisk ikke-lineær effekt.
- Effekten av ikke-lineær material egenskaper, samt effekten av konstruksjoner som er ulastet.

Når denne beregningsmodellen benyttes, er det viktig at det tas hensyn til effekten av at materialene krymper og/eller utvider seg pga temperatur endringer og forskjeller.

Deformasjonen ved den ultimate grensetilstanden, skal begrenses så mye som mulig, slik at samvirke opprettholdes mellom delene i konstruksjonen.

## 5.5 Brannteknisk dimensjonering av tre, ENV 1995-1-2

I dette underkapittelet ses det nærmere på tre. Hvordan tre påvirkes av brann, og hvordan det kan beskyttes. Her nevnes de forskjellige nivåene som benyttes for beregning av treelementers styrke under brann.

Tre konstruksjoner har lange tradisjoner i Norge. Store deler av landet er dekket av skog, som på en forholdsvis enkel måte kan foredles til utmerkede konstruksjons materialer. Tre egner seg godt som konstruksjonsmateriale fordi det har gode styrkeegenskaper, i forhold til egenvekt. Tre er lett å behandle, og har et estetisk utseende. Det finnes flere tresorter med forskjellig utseende og egenskaper, samtidig kan det benyttes i kombinasjon med andre materialer. På grunn av den gode tilgangen, og den forholdsvis enkle foredlingsprosessen, holder prisene seg på et forholdsvis lavt nivå sammenlignet med andre konstruksjons materialer.

### 5.5.1 Materialelegenskaper ved brann

Det er knyttet stor skepsis til tre som bygningsmateriale, spesielt i andre land som England og USA, hvor man benytter ubrennbare materialer til husbygging. Tre har faktisk meget gode egenskaper under brann. Når det først er dannet et kullag på overflaten, isolerer og beskytter det mot videre inntrenging og svekkelse av treet sine bæreegenskaper. Det viser seg at etter et fullstendig brannforløp, kan fortsatt bærende trekonstruksjoner inneha sine bærende egenskaper. Flere branneksperte trekonstruksjoner har i ettertid blitt reparert for gjenbruk.

Det negative med tre som konstruksjonsmateriale er, at treet i seg selv vil bidra som brensel til en eventuell brann, og derfor kan temperatur- og røykutviklingen øke.

Når store tre elementer er eksponert av en kraftig brann, vil overflaten til treet antenne og brenne raskt. Det forbrente treet danner et kullag som isolerer det massive treet under. Den initiale forbrenningshastigheten reduseres til en mer stabil hastighet, som vedvarer gjennom hele branneksporingen.

Forkullingshastigheten vil igjen øke hvis restvernsnittet blir veldig lite. Kullaget skrumper og gjør det tynnere enn det originale treet. Dette fører til sprekker i kullaget, som gir en passasje for de brennbare gassene til overflaten<sup>[12]</sup>.

Vanligvis brenner ikke kullaget. Forklaringen ligger i at det ikke er tilstrekkelig oksygen i flammene ved overflaten av kullaget, slik at en oksidasjon av kullet kan inntreffe. Når treet under kullaget er oppvarmet til over 100°C, vil fuktigheten i treet fordampe. Noe av fuktigheten beveger seg ut til den brennende flaten, mens noe beveger seg og inn i treet. Dette resulterer i en økning av fuktinnholdet til det oppvarmede treet, noen få centimeter under kull fronten<sup>[13]</sup>.



### 5.5.2 Svakheter

Hvis forkullingen av treet blir for dyp, og treet ikke lenger har den nødvendige dimensjonen den må ha for å bære den dimensjonerte lasten, vil konstruksjonen svikte.

Tre kan beskyttes på flere måter, den vanligste er å øke tverrsnittet, dvs øke dimensjonene. En annen måte er å impregnere treet, slik at det vil få et isolerende kullag tidligere enn normalt ved ubehandlet tre.

Det er mange brannbeskyttende kjemikalier tilgjengelig for å beskytte tre. Hensikten med slike kjemikalier er å redusere flammespredningshastigheten på overflaten til treet. Dette for å forbedre brannsikkerhet i rom dekket med tre eller tre baserte produkter.

Trykk impregnering med kjemikalier anses å være mer effektivt enn overflate maling. Trykk impregnerings prosessen ligner den metoden som brukes for å impregnere tre mot forråtnelse, men tilbakeholdenheten av salt som kreves for brannmotstand er mye høyere. Det er noen negative konsekvenser av å brannimpregnere tre, f.eks at styrken til treet reduseres, og en kan få korrosjon på fester. I tillegg må det tas miljøsyn av<sup>[14]</sup>.

### 5.5.3 ENV 1995-1-2 Tre

I ENV skiller det normalt mellom tre beregningsmetoder. For tre er det en litt annerledes inndeling, men det er fortsatt beskrevet tre metoder:

- Tabulerte data for tre er ikke beskrevet i ENV 1995-1-2. Dette fordi det er forventet at slik dimensjonerings hjelp finnes i håndbøker etc.
- Forenklet effektivt tverrsnitts metode. Antar at styrke og stivhets kapasiteten i det effektive tverrsnittet ikke påvirkes av brann.
- Redusert styrke og stivhets metode. Tar hensyn til redusert styrke og stivhets egenskaper når lastbærende kapasitet beregnes.
- Generelle beregningsmetoder. Tar hensyn til temperatur og fuktinnholdet til alle deler av det reduserte tverrsnittet, i tillegg til forholdet mellom styrke/stivhets egenskapene på den ene siden og temperatur/fukt innholdet på den andre. Dette er med andre ord en avansert beregningsmetode som krever inngående kjennskap til materialene og deres egenskaper.

Forkullet tre har reduserte bæreegenskaper. Det er derfor viktig at dette tas hensyn til når det skal dimensjoneres bærende trekonstruksjoner. Beregningsmetodene tar hensyn til dette på forskjellige nivåer. Enten ved å redusere, eller fjerne egenskapene for det brannpåvirkede treet.

### **5.5.3.1 Forenklet effektivt tverrsnittsmetode**

Forenklet effektiv tverrsnittsmetode tar for seg forkullingsdybde og lastbærende kapasitet til elementer og sammenføyninger. Med denne metoden antar man at det kun er det effektive tverrsnittet som har noen styrke og stivhets egenskaper. I prinsippet antar man her at det forkullede laget ikke har noen styrke eller stivhets egenskaper i det hele tatt.

### **5.5.3.2 Redusert styrke og stivhets metode**

Denne metoden kan kun benyttes for standard branneksponeering. Denne metoden er forholdsvis lik den foregående. Men her antar man en redusert styrke, og stivhet til et treelement.

### **5.5.3.3 Generell metoder**

De generelle beregningsmetodene er avansert, og benytter en kombinasjon av de foregående metodene. I tillegg legger den vekt på en mer nøyaktig analyse av elementets egenskaper. Denne metoden benytter seg av forkullingsdybde, temperatur profiler i resttverrsnittet, fukt innholds profiler i resttverrsnittet, og styrke/stivhets egenskaper som avhenger av tempretur og fuktinnhold.

## 6 Eksempel på bruk av ENV til brannteknisk dimensjonering

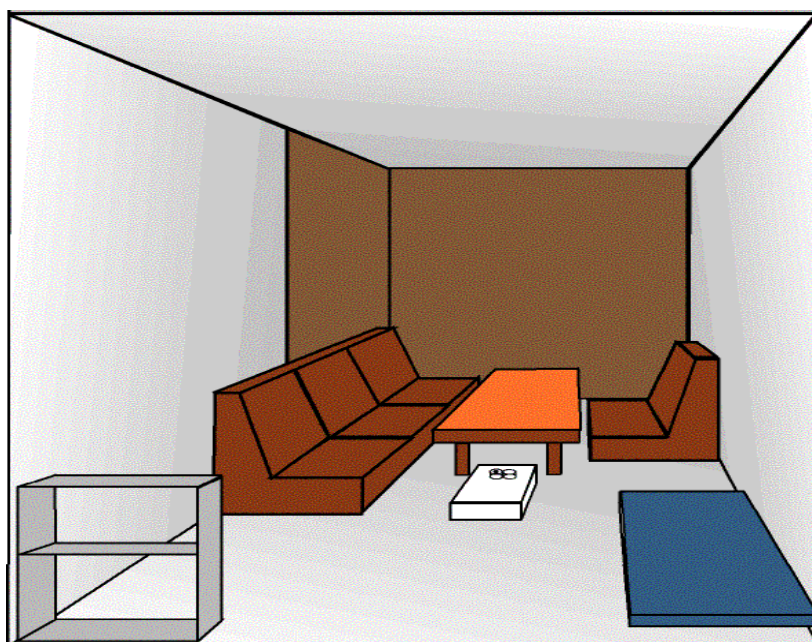
ENV kan virke avskrekkende og komplisert å sette seg inn i. For å illustrere hvordan den kan brukes kan det være mye hjelp i å sammenligne med et regne eksempel. Regneeksempelet som presenteres her er basert delvis på en konkret branntest<sup>[15]</sup> som gruppen har gjennomført i samarbeid med en annen prosjektgruppe<sup>[16]</sup>. Denne testen ble utført i et test rom som benyttes for uttesting av materialer utsatt for brann - et ISO rom. Dette rommet har standardiserte dimensjoner på volum og åpninger. Sammenligningen med denne testen er ment som en forenklet illustrasjon av forholdet mellom en test brann og en teoretisk brann. Den teoretiske brannen er konstruert ved hjelp av ENV 1991-2-2, og baserer seg på de dataene som var forutsetningen for test brannen.

For å bygge eksempelet opp på en pedagogisk måte, beskriver regneeksempelet et rom som har de samme dimensjonene som et ISO rom. Materialene som ble benyttet ved test brannen tilsvarer de som er benyttet i den teoretiske brannen.

### Beregningseksempel

Du jobber som branningeniører i et rådgivende ingeniørfirma, med godkjenning i høyeste tiltaksklasse innen brannteknisk prosjektering. En dag kommer et byggfirma som ber om hjelp til branntekniske beregninger. Problemstillingen gjelder beregninger av laster på konstruksjoner.

Byggfirmaet har ett prosjekt gående, hvor de holder på å prosjektere ett hybelkompleks, som skal bestå av 80 hybler fordelt på to etasjer. Hyblene er like, og skal være enkelt innredet.



Hyblenes dimensjoner er;  
høyde: 2,4 m,  
bredde: 2,4 m,  
lengde 3,6 m.

Åpningene på hyblene er  
2,0 m x 0,8 m.

Kledning på veggene som  
dekker 10,1 m<sup>2</sup>

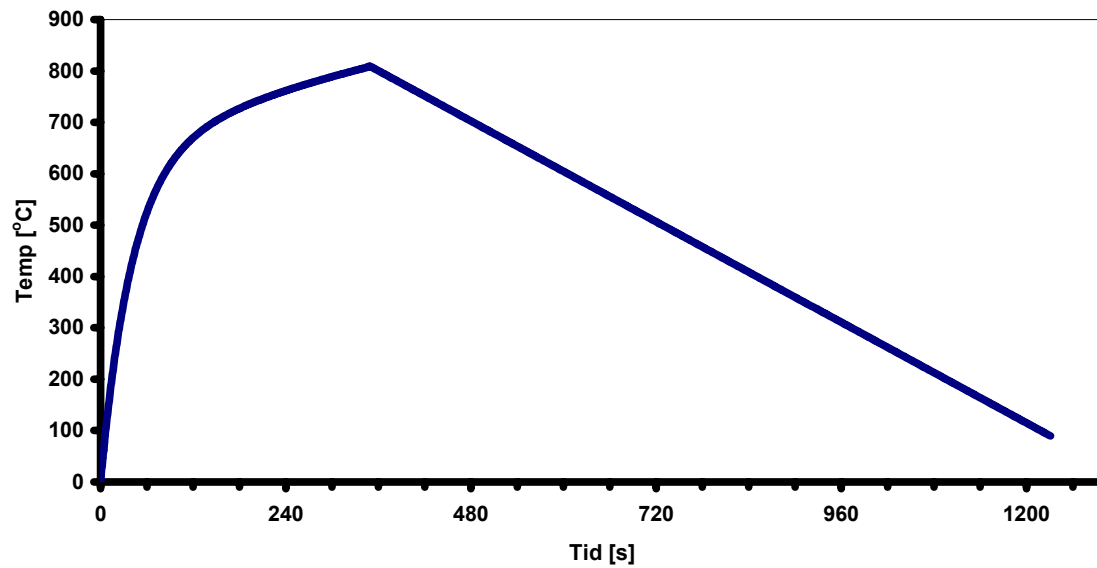
Spesifikk brannbelastning  
på 73,6 MJ/m<sup>2</sup>.

## 6.A Beregning av parametrisk tid-temperaturkurve.

### Beregning:

Utføres i regne ark. Den komplette beregningen finnes i Vedlegg 6.A

Svar:

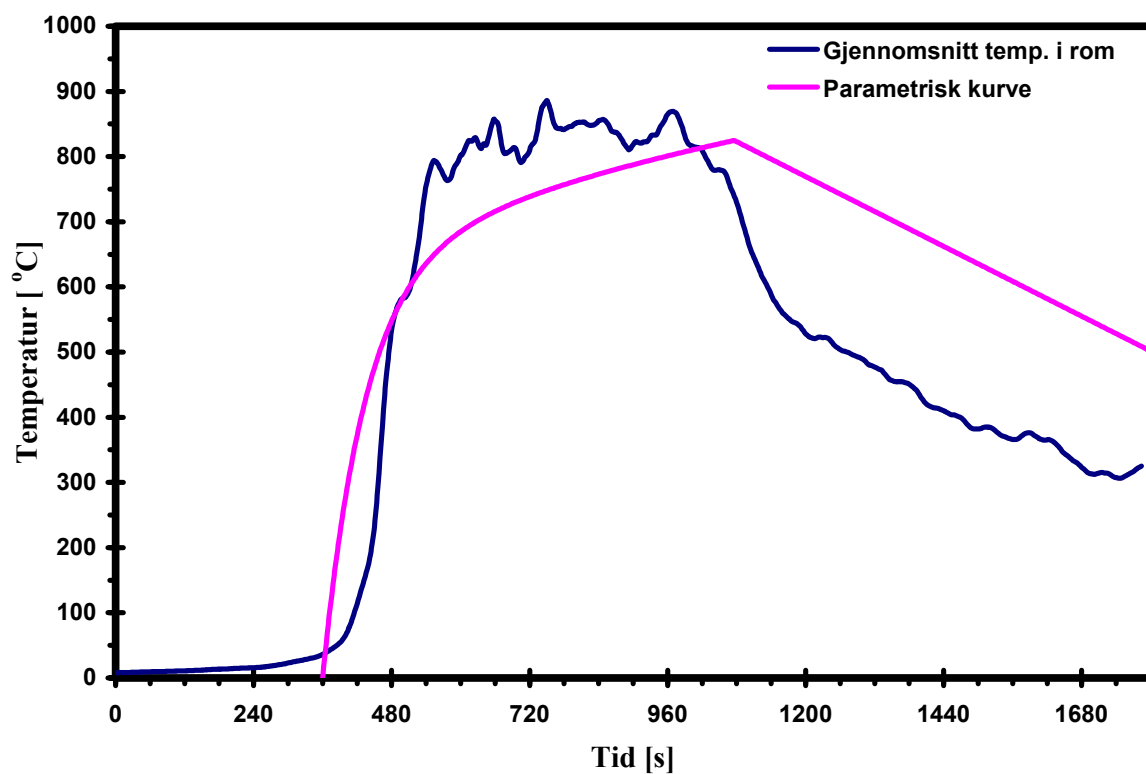


## 6.B Diskusjon om sammenligningen av virkelig brannforløp med beregnet parametrisk tid-temperaturkurve.

Her er det interessant å sammenligne den parametriske tid-temperaturkurven som kom fram i oppgave 6A og en virkelig brannforløp som ble utført i et ISO rom

### Sammenligning:

I vedlegg 6.B



## Diskusjon:

Ved sammenligning av disse to grafene, ser en at den parametriske måtte flyttes mot høyre, slik at den starter når den "virkelige" brannen kom over i overtenningsfasen. Dette fordi en brann vil aldri gå rett fra tennfasen og over til overtenningsfasen. Alle branner har en utviklingsfase, hvor den er avhengig av at det er tilstrekkelig med oksygen og brensel. Den parametriske tar altså ikke hensyn til utviklingsfasen til brann.

Ved videre sammenligning, ligger maks temperatur for den parametriske lavere enn den "virkelige", samt at gjennomsnitt temperaturen er høyere enn den parametriske. Noen av grunnene til at den "virkelige" har høyere maks temperatur, kan være at under brannforløpet fikk brann rikelig med oksygen ved hjelp av at det var litt trekk under forsøket, noe som den parametriske ikke tar hensyn til. Begge grafene har en kraftig temperaturøkning fra ca 360-420 sekunder og opp til 480 sekunder. Denne fasen kalles overtenningsfasen.

Etter overtenningsfasen går begge grafene over i fullt utviklet brann fase. I denne fasen går den virkelige rett opp til maks temperatur, og holder sin temperatur fram til all material er utbrent. Ut ifra grafen er denne fasen litt ujevn, dette kan være pga at brannen ble påvirket av vind/trekk, og det ble utført avkjøling med hjelp av vann. Dette for å unngå ødeleggelse av eksterne søyler og bjelker. Den parametriske stiger raskt i løpet av 60 – 90 sekunder, for deretter å jevne seg ut, og fortsetter stigningen jevnt oppover mot maks temperatur.

Etter fullt utviklet brann, kommer avkjølingsfasen. I denne fasen har den "virkelige" en raskere reduksjon enn den parametriske.

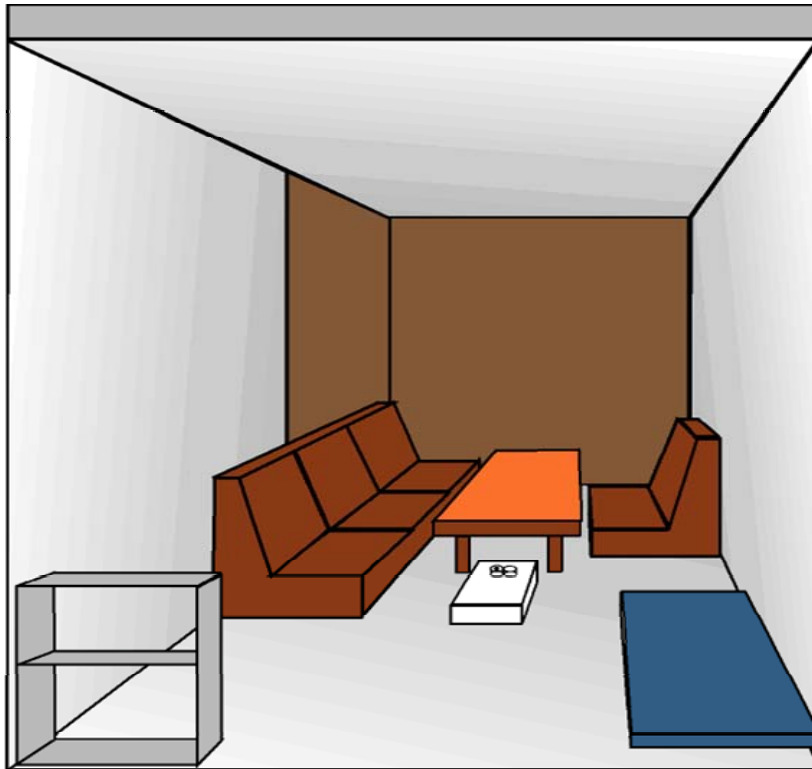
### Ekstra informasjon for å løse neste oppgave:

Konstruktøren er interessert i å finne ut hvilket materiale han kan benytte i den bærende konstruksjonen, for at disse skal tåle 30 minutters branneksponeing. Den bærende konstruksjonen blir under brann belastet med en last,  $E_{d,fi}$ , 9,0 kN

Prosjektøren oppgir i tillegg at tilført moment ved kald design,  $M_{Sd}$ , er 9,0 kNm

## 6.C Beregning: Holder betong dekket i en brannsituasjon?

Prosjektøren ønsker å benytte en 200 mm tykt betong dekke, Det blir foreslått en armeringsdybde,  $a$ , på 20 mm.  $F_{d,fi} = E_{d,fi}$ . Den effektive lengde,  $l_{eff}$ , til dekke er 3,6 m. Partial material faktor til armeringsstål under normaltilstand,  $\gamma_s$ , er 1,15. Partial faktoren til armeringsstål i branntilstand  $\gamma_{s,fi}$  er 1,0. Forholdet mellom arealet til armeringsstålet som er benyttet og arealet armeringsstål som er påkrevd,  $A_{s,prov} / A_{s,req}$ , er 1,0.



### Beregning:

Utføres i beregningsverktøyet for enkelt støttet betong dekke. Komplette utregning finnes i Vedlegg 6.C

### Svar:

Det maksimale brann design moment,  $M_{Sd,fi}$ , blir 4,05 kNm

Motstands momentet for design i brann situasjon,  $M_{Rd,fi}$ , blir 10,35 kNm

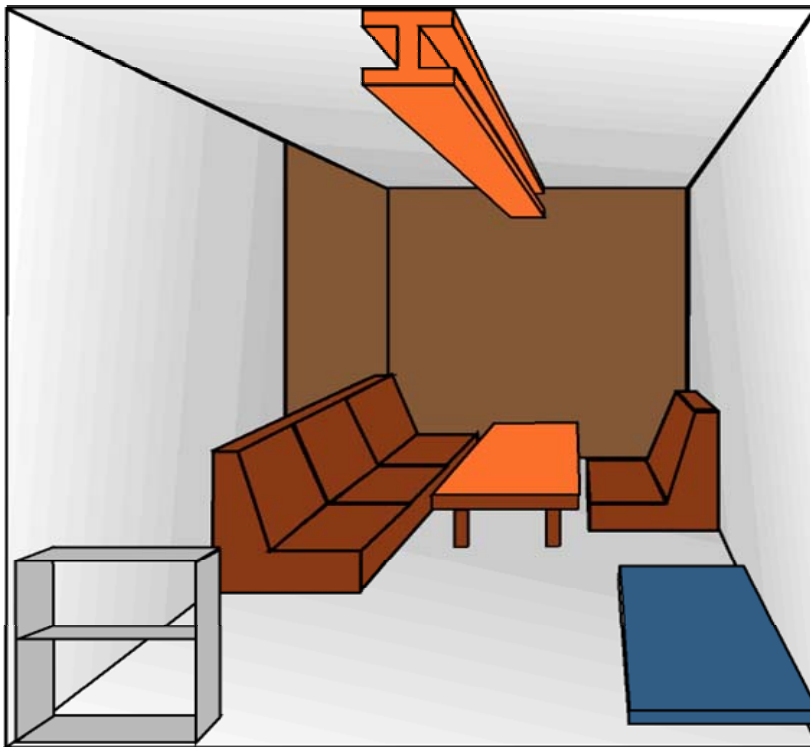
Verifiserer at  $M_{Sd,fi} \leq M_{Rd,fi}$ ,  $\Rightarrow E_{fi,d} \leq R_{fi,d} \Rightarrow \underline{OK}$

## 6.D Beregning: Holder stålbejlen i en brannsituasjon?

Prosjektøren ønsker nå å se på et alternativ hvor han ønsker å benytte en ubeskyttet stålbejle. Stålbejlen har en HE 100B profil. Utnyttelses faktoren,  $\mu_o$ , er gitt som 0,4.

Videre trengs de et verdi på utnyttelse faktoren.  $\mu_o$  er en verdi som uttryker forholdet mellom  $R_{fi,d}$  og  $E_{fi,d}$ .

Av konstruktøren er verdien satt til 0.40. Konstruktøren er interessert av å se nærmere på isolert og uisolert stålprofil.



### Beregning:

Utføres i beregningsverktøyet for stål bejle. Komplette utregning finnes i Vedlegg 6.D

### Svar:

Den kritiske temperaturen,  $\theta_{a,cr}$ , for stål profilen er  $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Temperaturen i stålprofilen,  $\theta_{a,30}$ , etter 30 min er  $739\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\theta_{a,cr} < \theta_{a,30} \Rightarrow$  Svikt, stålprofilen beholder ikke sin bæreevne etter 30 min. branneksponeering



---

**Enda mer nødvendig informasjon for videre oppgave løsning:**

Tverrsnittets temperaturen er før høy etter 30 min.

Konstruktøren ønsker derfor å prøve om en stålprofil beskyttet med 1 lag gips.

Bruker samme stålprofil. den skal isoleres med 13 mm tykke gipsplater. Isolasjonen bygges som en kasse rundt stålprofilen.

HE 100B bjelken er brann eksponert på tre sider.

Bruker profilfaktoren  $A_m/V = 115 \text{ m}^{-1}$

**Beregning:**

Utføres i beregningsverktøyet for stål bjelke. Komplette utregning finnes i Vedlegg 6.D

**Svar:**

Den kritiske temperaturen,  $\theta_{a,cr}$ , for den beskyttede stål profilen er  $620 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Temperaturen i den beskyttede stålprofilen,  $\theta_{a,30}$ , etter 30 min er  $277 \text{ }^\circ\text{C}$

$\theta_{a,cr} \geq \theta_{a,30} \Rightarrow$  OK, den beskyttede stålprofilen beholder bæreevnen i 30 min.

## 6.E Beregning: Holder trebjelken i en brannsituasjon?

Det tas utgangspunkt i de opplysningene som er gitt i starten av dette kapitlet. Følgende tilleggopplysninger benyttes i beregningen:

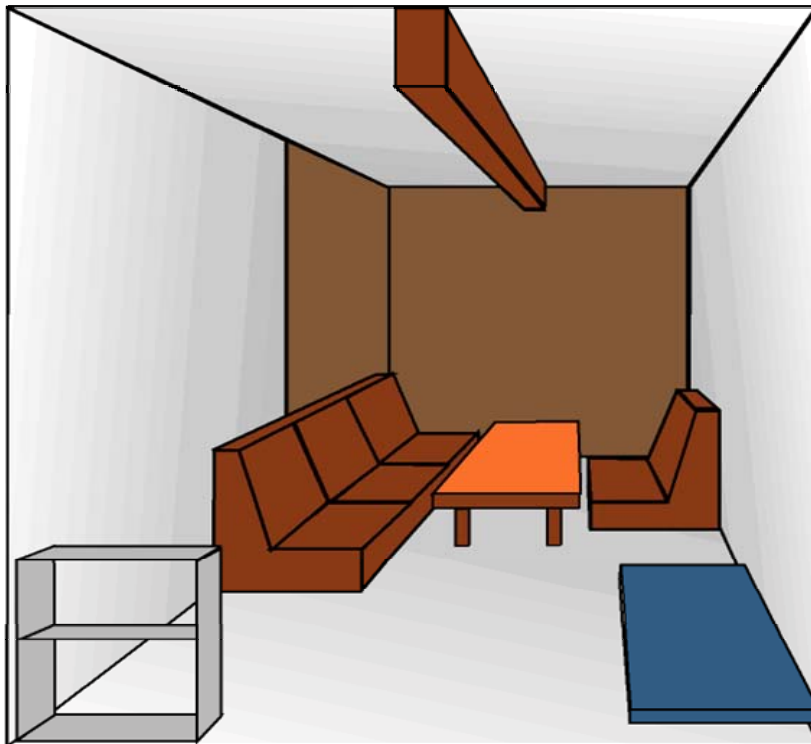
Limtre bjelke, med en karakteristisk tetthet større enn  $290 \text{ kg/m}^3$

Bjelken er ubeskyttet og er eksponert fra en standard brann på tre sider.

Dimensjonene er: 100 mm bred

300 mm høy

Hvilke last klarer bjelken etter 30 min standard branneksponeering.



### Beregning:

Utføres i regne ark. Komplette utregning finnes i vedlegg 5

**Svar:**

For dette tilfellet ser vi at bjelken vil holde så lenge den belastningen på bjelken ikke overskrider den maksimale moment kapasiteten,  $M$ .

$$E_{f_i,d} \leq M$$

Hvor:

$$E_{f_i,d} \text{ er } 9 \text{ kNm}$$

$$M \text{ er } 18,72 \text{ kNm}$$

$$E_{f_i,d} \leq M \Rightarrow 9 \text{ kNm} \leq 18,72 \text{ kNm} \Rightarrow \underline{\text{limtrebjelken vil opprettholde sin påkrevde bæreevne under 30min standardbranneksponering}}$$

## 7 Diskusjon – Konklusjon

Forarbeidet til dette prosjektet gikk ut på å fordype seg i de aktuelle Eurocodes. Da vi var kommet godt i gang med dette, begynte vi å sammenligne det vi fant i Eurocode med det som fantes Norsk Standard. Når vi foretok sammenligning mellom Norsk Standard og de europeiske forstandardene, oppdaget vi at det var store forskjeller. Dette var hovedsakelig forskjeller som gjenspeilet seg i at Norsk Standard etter hvert begynner å bli utdatert. Norsk Standard er ikke spesielt nyansert. Den generaliserer formler og tabeller på en slik måte at løsningene man får ved å benytte Norsk Standard, er til tider meget konservative og lite spesifiserte til enkelte konstruksjoner.

I ENV derimot, er det gitt flere beregnings nivåer. Disse beregningsnivåene beskriver forskjellig grad av nøyaktighet. De enkleste metodene slik som tabulerte data og forenklete beregningsmetoder, er til en viss grad like de metodene som er gitt i Norsk Standard. Men i ENV er det i tillegg gitt en avansert beregningsmetode. Denne metoden gjør det mulig å dimensjonere hele konstruksjoner, eller mindre deler av konstruksjonen. Dette krever at det er spesifiserte data til den aktuelle konstruksjonen. Ved bruk av de avanserte beregningsmetodene er det da mulig å redusere dimensjonene. Hvis det dreier seg om store konstruksjoner kan kostnadene reduseres betydelig pga material besparelser.

Det må også nevnes at en slik avansert beregning, krever at brukeren har gode faglige kunnskaper, og er godt inneforstått med hvordan denne metoden skal gjennomføres.

I kapittel 5 har vi laget forenklete sammendrag av hovedinnholdet i ENV. Dette er ment som et hjelpemiddel i arbeidet, med å sette seg inn i selve ENV. Ut ifra disse forenklete sammendragene, håper vi at leserne kan forstå hensikten og nytten med ENV. Og forhåpentligvis vekke leserens interessen for disse standardene.

Vår konklusjon er at ENV er en meget nyansert og god standard som kan føre til bedre sikkerhet, og reduserte kostnader ved oppførelse av bygg og andre konstruksjoner. Selv om ENV er komplisert, og kanskje innviklet å forstå, er vi av den oppfatning at det er stor gevinst i benytte denne til prosjektering av bygg og andre konstruksjoner.

Regnearkene er ment som et hjelpemiddel til bruken av ENV. Regnearkene blir og benyttet i en serie regneeksempler vi har konstruert, for å eksemplifisere hvordan ENV kan brukes.

Nå er det heller ikke lenge før de foreløpige standardene ENV blir erstattet av den endelige standarder EN. Det er selvfølgelig muligheter for at EN kommer til å fravike ENV på noen punkter. Allikevel regner vi med at sammendraget av ENV kan benyttes når de endelige standardene er tilgjengelige.

Vi noterer oss og, at Norsk Standard snart kommer i en fornyet versjon. Den oppdaterte Norsk Standard ser ut til å være temmelig lik ENV. Etter hva det ser ut som på hørings standarden, vil denne være en forkortet oversettelse av ENV. Vi mener dette kan være forvirrende og unødvendig. Spesielt siden det er åpnet for bruk av nasjonale applikasjons dokumenter. Disse dokumentene er ment for å tilpasse ENV til de forskjellige brukerlandene. Norsk Standard burde etter vår mening heller utformes som et nasjonalt applikasjons dokument.

## 8 Referanse liste

1. *Brannsikkerhet, Prosjektering og dokumentasjon, Sigurd Hoelsbreken, Universitetsforlaget 1997.*
2. *Stortingsmelding 15 (1991-1992).*
3. *REN veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997, 2.utgave april 1999, Statens bygningstekniske etat, Norsk Byggtjenestes Forlag, 1999.*
4. *Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven 1997, 22.januar 1997. Nr.33, Kommunal- og arbeidsdepartementet, Bolig- og bygningsavdelingen, Norsk Byggtjenestes Forlag, 1998.*
5. *Plan og bygningsloven 1997, Statens bygningstekniske etat, Norsk Byggtjenestes Forlag, 1999.*
6. *Statistikk over antall omkomne i Norge som følge av boligbranner. Direktoratet for brann og elsikkerhet, 20.04.2002.  
[www.dbe.no](http://www.dbe.no),*
7. *Norges Standardiseringsforbund, 10.04.2002.  
[www.standard.no](http://www.standard.no)*
8. *Brannvernsamarbeidet Mur og Betong. Mur og betong i bygningsmessig brannvern, prosjekteringsanvisning, 1998.*
9. *Betongelementboken Bind D, Betongindustriens Landsforening, 1994.*
10. *Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design. ENV 1992-1-2: 1995, European Committee for Standardization, Brussel, Belgia, 1995.*
11. *Structural Design for Fire Safety, Andrew H. Buchanan, John Wiley & Sons, England, 2001.*
12. *An Introduction to Fire Dynamics, Second Edition, Douglas Drysdale, John Wiley & Sons, England, 1998.*
13. *Modelling of heat and mass transfer in wood structures during fire, Fire Safety Journal, B. Fredlund, 1993.*
14. *Effects of fire retardant treatments on wood strenght: a review, Wood and Fibre Science, S. LeVan and J. E. Winandy, 1990.*
15. *Brann forsøk, ResQ AS, mars 2002.*

16. *Beregning og måling av termisk stråling fra varme røyklag, med og uten vanntåke, H. Westeng og R. A. Hagen, HSH, ResQ, 2002*
17. *Eurocode 1: Basis of Design and Actiones on Structures. Part 2-2: Action on Structures Exposed to Fire. ENV 1991-2-2: 1995, European Committee for Standardization, Brussel, Belgia, 1995.*
18. *Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design. ENV 1993-1-2: 1995, European Committee for Standardization, Brussel, Belgia, 1995.*
19. *Eurocode 4: Design of composite steel and concret structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design. ENV 1994-1-2: 1994, European Committee for Standardization, Brussel, Belgia, 1994.*
20. *Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design. ENV 1995-1-2: 1994, European Committee for Standardization, Brussel, Belgia, 1994.*

---

## Vedleggsliste

<b>Vedlegg 1: ENV 1991-2-2, Laster på konstruksjoner ved brann.....</b>	<b>2</b>
<b>Vedlegg 2: ENV 1992-1-2, Betong .....</b>	<b>16</b>
<b>Vedlegg 3: ENV 1993-1-2 Stål .....</b>	<b>24</b>
<b>Vedlegg 4: ENV 1994-1-2 Betong/Stål .....</b>	<b>31</b>
<b>Vedlegg 5: ENV 1995-1-2 Tre .....</b>	<b>42</b>
<b>Vedlegg 6 Beregningseksempel .....</b>	<b>46</b>
<b>Vedlegg 7 Regneverktøy.....</b>	<b>CD-ROM</b>

# Vedlegg 1: ENV 1991-2-2, Laster på konstruksjoner ved brann

## 1.1 Generelt

Dette kapittelet tar for seg dimensjonering av konstruksjoner som utsettes for branneksplosjon. Videre beskrives ulike verktøy til beregning av laster på konstruksjoner. Beregningene brukes for å bekrefte brannegenskapene i forhold til styrken til konstruksjonene.

Ved dimensjonering av konstruksjoner må en ta hensyn til ulike laster for å unngå nedbøying av konstruksjoner. De aktuelle lasttypene som tas hensyn til er:

- Egenlast er en permanent last, slik som tyngden til konstruksjonen.
- Nyttelast er belastninger fra personer og vanlig inventar som møbler osv.
- Snølast er tyngden fra snølaget på tak og liknende.
- Vindlast er vindtrykk på yttervegger og takflater, disse blir også kalt naturlaster.

Dimensjonering av brann på konstruksjoner innebærer å bruke temperatur analyse og konstruksjonsanalyse på laster.

Avhengig av representasjonen av de termiske lastene ved dimensjonering, skilles det mellom følgende prosedyrer:

- nominell tid-temperaturkurve som anvendes for en tidsperiode, og hvor konstruksjoner er dimensjonert, ved at (preskriptive) regler overholdes, samt bruk av tabulerte data eller beregningsmodeller.
- parametrisk tid-temperaturkurve, som er beregnet på grunnlag av fysiske parametere og for dimensjonerende konstruksjoner ved hjelp av beregningsmodeller.

Påvisning av brannmotstand kan være relatert til:

- Tid, ved å verifisere at:  $t_{fi,d} > t_{fi,req}$   
Her må den dimensjonerte tiden for den bærende konstruksjonen være større enn tiden for branneksplosjon
- Styrke, ved å verifisere at:  $R_{fi,d,t} > E_{fi,d,t}$   
Her må lastkapasiteten være større enn lastpåkjenningen



- Temperatur, ved å verifisere at:  $\theta_d < \theta_{cr,d}$   
Her må den dimensjonerte tiden, som konstruksjoner skal tåle, være større enn den kritiske temperaturen som konstruksjonen tåler.

For å kunne beregne brannpåkjenninger på bygningskonstruksjoner, må en kjenne til brannbelastningen i brannrommet. Brannbelastningen bestemmes ut i fra hvilke type materialer som brenner.

## 1.1 Nominell tid-temperaturkurver

### 1.1.1 Netto varmekonstruksjonsstråling

Netto varmestrøm pga stråling,  $\dot{h}_{net,r}$ , beregnes ved følgende ligning:

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi * \epsilon_{res} * 5,67 * 10^{-8} [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [\text{W/m}^2]$$

hvor

$\Phi$	konfigurasjonsfaktor	[-]
$\epsilon_{res}$	resulterende emissivitet	[-]
$\theta_r$	strålingstemperatur	[°C]
$\theta_m$	overflate temperatur	[°C]
$5,67 * 10^{-8}$	Stefan Boltzmann konstant	[W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]

### 1.1.2 Konvektiv varmekonstruksjonsstråling

Netto varmestrøm per overflate enhet ved konveksjon,  $\dot{h}_{net,c}$ , beregnes ved følgende ligning:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W/m}^2]$$

hvor

$\alpha_c$	koeffisient for varmetransport	[W/m <sup>2</sup> K]
$\theta_g$	gasstemperatur	[°C]

### 1.1.3 Dimensjonerende varmekonstruksjonsstråling

Dimensjonerende netto varmestrøm pga konveksjon og stråling,  $\dot{h}_{net,d}$ , beregnes ved følgende ligning:

$$\dot{h}_{net,d} = \gamma_{n,c} * h_{net,c} + \gamma_{n,r} * h_{net,r} \quad [\text{W/m}^2]$$

hvor

$\gamma_{n,c}$	faktor
$\gamma_{n,r}$	faktor

### 1.1.4 Standard tid-temperaturkurve.

Bærende bygningsdeler prøves å klassifiseres på grunnlag av tid-temperaturkurve. Bygningsdeler prøves med samme brannpåkjenning som bygningsdelene antas å bli utsatt for i det ferdige byggverket under brann. For eksempel blir søyler prøvd med brannpåkjenning på alle tre sider og bjelker med tresidig brannpåkjenning fra undersiden.<sup>[1]</sup>

Denne kurven er en forenklet metode og krever ingen informasjon om brannbelastningen i rommet eller ventilasjonsforholdet.

Ved hjelp av denne kurven kan en ved lette utregninger finne ut om konstruksjons konstruksjonene unngår svikt.

Denne kurven bestemmes ved følgende ligning:

$$\theta_g = 20 + 345 + \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

hvor

$$\theta_g - \text{gasstemperaturen i branncellen} \quad [^{\circ}\text{C}]$$
$$t - \text{tid} \quad [\text{min}]$$

Varmeoverføringskoeffisient ved konveksjon,  $\alpha_c$ , er:

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 1.1.5 Utvendig brannkurve.

Bærende bygningsdeler prøves å klassifiseres på grunnlag av tid-temperaturkurve. Bygningsdeler prøves med samme brannpåkjenning som bygningsdelene antas å bli utsatt for i det ferdige byggverket under brann. For eksempel blir søyler prøvd med brannpåkjenning på alle tre sider og bjelker med tresidig brannpåkjenning fra undersiden.<sup>[1]</sup>

Denne kurven er en forenklet metode og krever ingen informasjon om brannbelastningen i rommet eller ventilasjonsforholdet. Den tar hensyn til utvendige konstruksjoner.

Ved hjelp av denne kurven, kan en ved lette utregninger finne ut om konstruksjons konstruksjonene unngår svikt.

Denne kurven bestemmes ved følgende ligning:

$$\theta_g = 660 (1 - 0,687 e^{-32t} - 0,675 e^{-3,8t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

hvor

$$\theta_g - \text{gasstemperaturen i omgivelsen rundt konstruksjonsdelen} \quad [^{\circ}\text{C}]$$
$$t - \text{tid} \quad [\text{min}]$$

Varmeoverføringskoeffisient ved konveksjon,  $\alpha_c$ , er:

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 1.1.6 Hydrokarbon kurve.

Bærende bygningsdeler prøves å klassifiseres på grunnlag av tid-temperaturkurve. Bygningsdeler prøves med samme brannpåkjenning som bygningsdelene antas å bli utsatt for i det ferdige byggverket under brann. For eksempel blir søyler prøvd med brannpåkjenning på alle tre sider og bjelker med tresidig brannpåkjenning fra undersiden<sup>[1]</sup>. Kurven er en forenklet metode og krever ingen informasjon om brannbelastningen i rommet eller ventilasjonsforholdet. Ved hjelp av kurven, kan en ved lette utregninger finne ut om konstruksjons konstruksjonene unngår svikt.

Denne kurven bestemmes ved følgende ligning:

$$\theta_g = 1080 (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

hvor

$$\theta_g - \text{gasstemperaturen i branncellen} \quad [^{\circ}\text{C}]$$
$$t - \text{tid} \quad [\text{min}]$$

Varmeoverføringskoeffisient ved konveksjon,  $\alpha_c$ , er:

$$\alpha_c = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## 1.2 Parametrisk branneksponeering

Gasstemperaturer for beregninger av netto varmestrøm bør bestemmes på basis fra fysiske parametere med hensyn til:

- spesifikk brannbelastning
- ventilasjonsforhold
- branncellens termiske egenskaper

Beregninger bør baseres på forutsetninger av at den relevante brannbelastningen er utbrent, unntatt hvor nasjonale spesifikasjoner (TEK/ Veiledning til TEK) tillater den tidsbestemte brannbelastningen ved parametrisk eksponering. For brannceller med godkjente brannslukningssystem, kan dimensjonerende spesifikk brannbelastning benyttes i samsvar til Annex D.

## 1.3. Parametrisk tid-temperaturkurve

### 1.3.1 Generelt

Dette tillegget brukes til analyse av tid-temperaturkurve i en branncelle. Denne beregningsmetoden er en detaljert analyse som tar hensyn til brannbelastning i rommet, til åpninger kun vertikalt og størrelse på branncellen. Den brukes for brannceller som har et gulvareal opptil 100 m<sup>2</sup>, og denne branncellen kan kun ha en høyde på maks 4 m. Det blir også tatt hensyn til branncellens omsluttende bygningsdeler, om veggene består av ett materiallag, forskjellige materiallag eller forskjellige materialer i vegger, tak og gulv.

### 1.3.2 Beskrivelse av utregning

De punktene som følger etter, er en slags kokebok for å komme fram til den parametriske tid-temperaturkurven, hvor en da kan finne maks temperatur.

1. **Beregn omhyllingsarealet  $A_t$ , areal for åpninger. Beregn veid høyde for åpningene  $h$ , samt arealet av vertikale åpninger  $A_v$ .**

2. **Beregn åpningsfaktoren  $O$ :**

$$O = \frac{A_v \cdot \sqrt{h}}{A_t} \quad [-]$$

Åpningsfaktoren,  $O$ , bør ligge i intervallet 0,02 – 0,20 m<sup>1/2</sup>

3. **Finn egenskapene til materialene som inngår i branncellen.**

Det skal beregnes en størrelse  $b = \sqrt{\lambda \rho C}$ , termisk treghet.

[J/m<sup>2</sup>s<sup>1/2</sup>K]

$\lambda$  – varmekonduktivitet

$\rho$  – tettheten

$C$  – varmekapasitet

Dette er tabellverdier som må letes fram

Hvis det er konstruksjon med flere materiallag, skal følgende formel brukes.

$$\sqrt{\lambda \rho C} = \frac{\sqrt{\sum s_i C_i k_i}}{\sqrt{(\lambda \rho C)_i^2}} \quad [\text{J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}]$$

hvor

$s_i$  - tykkelse til lag  $i$

$C_i$  - spesifikk varmekapasitet til lag  $i$

$k_i$  - termisk konduktivitet til lag  $i$

Hvis det er konstruksjoner med forskjellige materialer i vegger, tak og gulv

$$b = \frac{\sum b_j A_{ij}}{\sum A_{ij}}$$

Merk! b bør overholde grensene  $1000 \leq b \leq 2000$

**4. Beregn  $\Gamma$  (ømikron), fra følgende formel:**

$$\Gamma = \left(\frac{O}{b}\right)^2 \cdot \left(\frac{0,04}{1160}\right)^2 \quad [-]$$

**5. Finne modifisert tid,  $t^*$**

$$t^* = t \cdot \Gamma \quad [\text{h}]$$

**6. Finne temperaturer i branncellen ved hjelp av følgende formel:**

$$\theta_g = 1325(1 - 0,324e^{-0,2 t^*} - 0,204e^{-1,7 t^*} - 0,472e^{-19 t^*}) \quad [^\circ\text{C}]$$

**7. Finne maks temperatur i branncellen for tiden  $t^* = t_d^*$**

$$t_d^* = \frac{0,13 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} \cdot \Gamma}{O}$$

hvor

$q_{t,d}$  - brannbelastningen i rommet, bør ligge mellom 50 og 1000 MJ/m<sup>2</sup>

**8. Beregne avkjølingen i branncellen,**

Utregninger har tre uttrykk som kan brukes, men dette avhenger av verdien til  $t_d^*$ .

$$\theta_g = \theta_{\text{maks}} - 625 (t^* - t_d^*)$$

$$t_d^* \leq 0,5$$

$$\theta_g = \theta_{\text{maks}} - 250 (3 - t_d^*) (t^* - t_d^*)$$

$$0,5 < t_d^* < 2$$

$$\theta_g = \theta_{\text{maks}} - 250 (t^* - t_d^*)$$

$$t_d^* \geq 2$$

## 1.4. Termiske laster på utvendige konstruksjonsdeler

### 1.4.1 Generelt

Denne beregningsmetoden brukes for å finne følgende størrelse:

1. Maksimumstemperatur i en branncelle.
2. Størrelse og temperatur på flammer fra åpninger.
3. Strålings- og konveksjonsparametere.

Denne metoden tar hensyn til stasjonære betingelser for de ulike parametrene. Hvis det er vinduer på motsatt side av branncellen eller hvis det blir tilført luft fra andre kilder enn et vindu, skal en bruke tvungen trekkbetingelser. Hvis ikke, beregner enn med uten tvungen trekkbetingelser.

### 1.4.2 Beskrivelse av utregning

#### 1. Hvis det er mer en ett vindu, beregnes gjennomsnittelig høyde, vindusareal og bredde for branncellen, som følgende:

- Summen av vindusarealet på alle vegger

$$A_w = \sum_i A_{wi}$$

- Veid gjennomsnitt av vindushøyder på alle vegger

$$h = \frac{\sum_i A_i h_i}{A_w}$$

hvor

- $A_i$  - arealet av vinduet  
 $h_i$  - vindushøyde

- Summen av vindusbredden på alle vegger.

$$w = \sum_i w_i$$

## 2. Er det vinduer på mer enn en vegg, bestemme forholdet D/W fra følgende:

$$\frac{D}{W} = \frac{W_2 \cdot A_{w1}}{W_1 \cdot A_w}$$

hvor

- D - branncellens dybde.
- W - bredden på veggen som inneholder vindu.
- W<sub>1</sub> - bredde på vegg 1, det med det største vindusarealet.
- W<sub>2</sub> - bredden av branncelleveggen som står vinkelrett på vegg 1.
- A<sub>w1</sub> - summen av vindusarealet på vegg 1.

## 3. Er det kjerne i branncellen, bestemmes forholdet D/W slik:

$$\frac{D}{W} = \frac{(W_2 - C_2)A_{w1}}{(W_1 - C_1)A_w}$$

hvor

- C<sub>1</sub> - kjernens lengde
- C<sub>2</sub> - kjernens bredde

## Ingen tvungen trekk

### 1. Forbrenningshastighet:

$$R = \min\left(\frac{L}{\tau_F}; 0,18(1 - e^{-0,036\eta})A_w\left(h\frac{W}{D}\right)^{1/2}\right)$$

Hvor

- L - brannbelastningen (A<sub>F</sub> \* Q)
- τ<sub>F</sub> - varighet av brannens frie brenning
- η - A<sub>T</sub>/A<sub>w</sub> h<sup>1/2</sup>

### 2. Temperaturen i branncellen:

$$T_f = 6000 \frac{(1 - e^{-0,1\eta})}{\eta^{1/2}} (1 - e^{-0,05\Psi}) + T_a$$

hvor

$$\Psi = \frac{L}{(A_w \cdot A_T)^{0,5}}$$

### 3. Flammehøyde:

$$z = h \left( 16 \left( \frac{R}{A_w \rho (hg)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right)$$

hvor

g - tyngdekraften

### 4. Flammebredden er:

vindusbredden

### 5. Flammedybden er:

2/3 av vindushøyden

### 6. Flammens horisontale projeksjon:

- hvis det er vegg over vinduet

for  $h \leq 1,25 \cdot w$

$$x = \frac{h}{3}$$

for  $h > 1,25 \cdot w$  og avstanden til andre vinduer  $> 4 \cdot w$

$$x = 0,3 \cdot h \left( \frac{h}{w} \right)^{0,54}$$

for  $h > 1,25 \cdot w$  og avstanden til andre vinduer  $< 4 \cdot w$

$$x = 0,454 \cdot h \left( \frac{h}{2 \cdot w} \right)^{0,54}$$

- hvis ikke det er noe vegg over vinduet

$$x = 0,6 \cdot h \left( \frac{z}{h} \right)^{1/3}$$

### 7. Flammelengde over akse:

vegg over vinduet,  $h \leq 1,25 \cdot w$

$$X = z + \frac{h}{2}$$

ingen vegg over vinduet eller  $h > 1,25 \cdot w$

$$X = \left( z^2 + \left( x - \frac{h}{3} \right)^2 \right)^{1/2} + \left( \frac{h}{2} \right)$$



**8. Flammentemperatur ved vinduet:**

$$T_0 = \frac{520}{\left(1 - 0,027 \left(X \cdot \frac{w}{R}\right)\right)} + T_a$$

**9. Emissivitet ved vinduet:**

$$1,0$$

**10. Flammentemperatur langs akse:**

$$T_z = (T_0 - T_a) \left(1 - 0,027 \left(l \cdot \frac{w}{R}\right)\right) + T_a$$

**11. Flammeemissivitet:**

$$\varepsilon = 1 - e^{-0,3\lambda}$$

**12. Konvektiv varmeoverføringskoeffisient:**

$$\alpha = 0,026 \left(\frac{1}{d}\right)^{0,4} \left(\frac{R}{A_w}\right)^{0,6}$$

**13. Hvis det er flammeskjerm eller en balkong er plassert øverst ved vinduet langs hele bredden til vinduet, skal flammens høyde og – horisontale projeksjon modifieres som følgende, hvis det er vegg over vinduet og hvis  $h \leq 1,25$ :**

- flammehøyden  $z$ , reduseres med  $h_a \sqrt{2}$
- flammens horisontale projeksjon  $x$ , økes med  $h_a$ .

**14. Hvis det ikke er noe vegg over vinduet eller  $h \geq 1,25$ , bør flammens høyde og – horisontale projeksjon modifieres som følger:**

- flammehøyden  $z$  reduseres med  $h_a$ .
- flammens horisontale projeksjon  $x_1$ , økes med  $h_a$ .

## Tvungen trekk

### 1. Forbrenningshastighet:

$$R = \frac{L}{\tau_F}$$

### 2. Temperatur i branncellen:

$$T_f = 1200(L - e^{-0,04\psi}) + T_a$$

### 3. Flammehøyde:

$$z = \left( 23,9 \left( \frac{1}{u} \right)^{0,43} \cdot \frac{R}{A_w^{1/2}} \right) - h$$

### 4. Flammens horisontale projeksjon:

$$x = 0,605 \left( \frac{u^2}{h} \right)^{0,22} (z + h)$$

### 5. Flammebredde:

$$w_z = w + 0,4x$$

### 6. Flammelengde langs aksen:

$$X = (z^2 + x^2)^{1/2}$$

### 7. Flammetemperatur ved vinduet:

$$T_0 = \frac{520}{\left( 1 - 0,0199 \left( \frac{l(A_w)^{1/2}}{R} \right) \right)} + T_a$$

### 8. Flamme emissivitet ved vinduet = 1

### 9. Flammetemperatur langs akse:

$$T_z = \left( 1 - 0,0199 \left( \frac{l(A_w)^{1/2}}{R} \right) \right) (T_0 - T_a) + T_a$$

### 10. Flamme emissivitet:

$$\varepsilon = 1 - e^{-0,3\lambda}$$

### 11. Konvektiv varmeoverføringskoeffisient:

$$\alpha = 0,0098 \left( \frac{1}{d} \right)^{0,4} \left( \frac{R}{A_w} + \frac{u}{1,6} \right)^{0,6}$$

## 12. Effekten av balkong eller flammeskjerm:

Etter å ha blitt forskjøvet horisontalt pga balkong eller flammeskjerm, er flammens bane den samme som før, forskjøvet utover av balkongens dybde eller flammeskjermen, men verdien x er uforandret.

## 1.5 Spesifikk brannbelastning

### 1.5.1 Generelt

Den spesifikke brannbelastningen som blir brukt i beregninger skal være en dimensjonerende verdi, som baseres på målinger eller i spesielle tilfeller en nominell verdi basert på krav til brannmotstand. Den dimensjonerende verdien baseres på en nasjonal brannbelastningsklassifisering og for et spesielt prosjekt ved å foreta en måling av brannbelastningen.

Ved utregning av spesifikk brannbelastning skal det tas hensyn til alt brennbart i bygninger og bygningskonstruksjoner, inkludert kledning og innredning. Men den spesifikke brannbelastningen kan også bestemmes ut fra en brannbelastningsklassifisering

### 1.5.2 Beskrivelse av utregning

**Den dimensjonerende spesifikke brannbelastningen:**

	$q_d = \gamma_q * \gamma_n * q_k$	[MJ/m <sup>2</sup> ]
hvor	$q_k$	karakteristiske spesifikke brannbelastning - fra en brannbelastningsklassifisering av de aktuelle branncellene - for et spesifikt prosjekt, se punkt D.4 (ref: ENV 1991-2-2, Annex D)
	$\gamma_q$	sikkerhetsfaktor som avhenger av konsekvensene for brudd og av hyppigheten av branner. Fastsettes i henhold til nasjonale spesifikasjoner (TEK/REN) Brannbelastningen som inngår i beregningsforutsetningene, må baseres på anerkjent statistikk og den dimensjonerende brannbelastningen velges slik at den er større enn 80% av de observerte tilfellene. For konstruksjonsdeler som etter § 7-23 tabell 1 (ref: REN) skal ha brannmotstand R 90 eller høyere, må det brukes en dimensjonerende brannbelastning som er 50% større enn den som er fastlagt etter ovennevnte kriterier.
	$\gamma_n$	differensialfaktor som tar hensyn til aktive brannbeskyttelser, settes normalt til 0,6. I henhold til NS settes den til 1,0

### Den karakteristiske brannbelastningen:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} * H_{ui} * m_i * \psi_i = \sum Q_{fi,k,j} \quad [MJ]$$

hvor

$M_{k,i}$  mengde brennbart materiale

$H_{ui}$  netto brennverdi

$m_i$  valgfri faktor for vurdering av forbrenningsegenskapene

$\psi_i$  valgfri faktor for vurdering av beskyttende brannbelastning

### Netto brennverdi

$$H_u = H_{u0} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad [MJ/kg]$$

hvor

U - fuktinnhold i masseprosent

$H_{u0}$  - netto brennverdi av tørre materialer, tabell D.1 (ref: Annex D)

## 1.6 Ekvivalent brannekspneringstid

### 1.6.1 Generelt

I dette tillegget er det beregnet å bruke tabulerte data eller forenklete regler for dimensjonering av konstruksjonsdeler som er basert på standard tid-temperaturkurve. Hvis spesifikke brannbelastning angis uten at det tas hensyn til forbrenningsegenskapene ( se pkt 5) bør denne fremgangsmåten begrenses til brannceller med brannbelastning hovedsakelig bestående av celluloseprodukter.

### 1.6.2 Beskrivelse av utregning

Ekvivalent brannekspneringstid:

$$t_{e,d} = q_{f,d} * k_b * w_f = q_{t,d} * k_b * w_t \quad [\text{min}]$$

hvor

$q_d$  dimensjonerende spesifikke brannbelastningen som i pkt. 5

$k_b$  omregningsfaktor (ref: ENV 1991-2-2, Annex E, pkt 4)

$w$  ventilasjonsfaktor

hvor  $w_t = w_f A_t/A_f$

Ventilasjonsfaktor  $w_f$

$$w_f = \left( \frac{6,0}{H} \right)^{0,3} \cdot \left[ \frac{0,62 + 90(0,4 - \alpha_v)^4}{(1 + b_v \cdot \alpha_h)} \right] \geq 0,5$$

hvor

$\alpha_v = A_v/A_g$ ,  $A_v$  er arealet av vertikale åpninger og  $A_g$  er gulvarealet til branncellen, der  $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$  bør overholdes.

$\alpha_h = A_h/A_g$ ,  $A_h$  er arealet av horisontale åpninger og  $A_g$  er gulvarealet til branncellen.

$b_v = 12,5 (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0$

$H$  er høyden på branncellen

For små brannceller [ $A_f < 100 \text{ m}^2$ ] uten åpninger i taket, kan  $w_f$  beregnes som:

$$w_f = 0^{-1/2} \cdot \frac{A_f}{A_t}$$

Det skal vises at:

$$t_{e,d} < t_{fi,d}$$

## Vedlegg 2: ENV 1992-1-2, Betong

### 2.1 Generelt

Betong består av sementbaserte bindingsmiddel, vann, bergartsmaterial og eventuelle tilsetnings konstruksjoner, kalt aggregater. Når disse materialene blandes får man en masse som etter hvert stivner og får en betydelig holdfasthet.

Betong er et lett håndterlig bygningsmateriale. Den blir mest benyttet i større bygg. Det har sine fordeler i at den enkelt kan formes. Den kan støpes i ferdige (pre-fabrikerte) konstruksjoner eller støpes direkte på bygningsstedet.

Betong er tradisjonelt ansett som det beste konstruksjonsmaterialet når det gjelder brannmotstand. Betongens termiske egenskaper, dvs. evne til å absorbere varme ved temperaturpåvirkning, danner hovedgrunlaget for dette.

Betongens termiske egenskaper uttrykkes ved varmeledningsevne og spesifikk varmekapasitet. Et materials varmeledningsevne forteller hvor mye og hvor fort et material tar opp varme/energi, høy varmelednings evne betyr at materialet hurtig opptar varme/energi som blir tilført. Varmekapasitet beskriver evnen materiale har til å oppta varme.

Fordi temperaturen blant annet varierer under brann, er betongens evne til å akkumulere varme av stor betydning. Blant annet representerer fordampningen av betongens fuktinnhold et varmesluk som forsinker varmeinntregningen i tverrsnittet.

Bæreevne og mekanisk motstandsevne påvirkes forholdsvis lite ved høye temperaturer.<sup>[6]</sup>

Temperatur inntrengningen som funksjon av tid kan beregnes teoretisk ut fra gitt geometri og de termiske materialparametrene.

Armeringsstålets betydning for varmeinntregning kan normalt neglisjeres.<sup>[7]</sup>

De material egenskapene som er avhengige av temperatur, må tas hensyn til ved brannteknisk dimensjonering.

Material egenskapene ved normaltemperatur vurderes ut i fra ENV 1992-1-1.

Verdier for reduksjonen av den karakteristiske trykk styrken til betong, og av den karakteristiske styrken på armeringsstål gis i ENV 1992-1-2

Disse reduserte verdiene kan benyttes i forenklete beregningsmetoder, de kan og benyttes til å evaluere den kritiske temperaturen til armeringen (når en bruker tabulert data for kritiske temperaturer andre enn 500°C).

Material modellene gitt i ENV 1992-1-2 avsnitt 3.2 for betong og avsnitt 3.3 for stål, burde bare tilføres for varmerater tilsvarende de som inntreter under standard branneksponeering frem til tiden hvor maksimal temperatur inntreffer. Det er tillatt å bruke andre material lover (f.eks parametriske branner) hvis disse løsningene er innenfor det som er bevist med eksperimenter. Standard brann forhold er definert mellom 20°C og 1200°C, tilhørende egenskaper er og definert mellom de samme verdiene.

## 2.2 Beregningsmetoder

Denne seksjonen omhandler tre beregnings metoder:

- Tabulerte data, detaljering i følge anerkjente design løsninger. Dette er den enkleste metoden. De fleste data kan hentes fra generelle tabeller.
- Forenklet beregningsmetode, for spesifikke konstruksjonstyper. Denne metoden er litt mer kompleks enn den foregående. Også her benyttes verdier som hentes fra tabeller, men disse verdiene modifiseres for å passe bedre til de spesifikke konstruksjonene de skal benyttes i.
- Generell kalkulasjons metoder, for simulering av oppførselen til strukturelle konstruksjoner, delkonstruksjoner eller hele konstruksjoner. For å kunne gjennomføre en beregning etter denne metoden kreves det enda mer spesifiserte data. Dette er en mer krevende metode.

Hvor nødvendig, skal eksplosiv avskalling unngås med passende tiltak.

I fravær av mer nøyaktig data, kan risikoen for eksplosiv avskalling antas på den sikre siden ved å bruke Figur A.18 i Annex A. For mer nøyaktige antagelser burde fukt innhold, type aggregat, tettheten til betong og varme rate tas med i beregningen.

Som en regel er kontroll av eksplosiv avskalling ikke påkrevd for konstruksjoner designet til eksponeringsklasse 1 fra Tabell 4.1 i ENV 1992-1-1.

Der hvor lokal erfaring indikerer økt sannsynlighet for eksplosiv avskalling i lett betong, burde relevante dokumenter benyttes for å bestemme konstruksjon størrelsen.

Det må tas hensyn til at armeringsstål forlenger seg under oppvarming av betongtverrsnittet. Dette kan resultere i progressiv kollaps på forbelastede konstruksjoner med ubundne sener. I dette tilfelle anbefales det og ta spesielle forholdsregler for å beskytte forankringen

### 2.2.1 Tabulerte data

Tabulerte data er den enkleste beregningsmetoden, den tar for seg design i følge anerkjente design løsninger. (se 4.2 i ENV 1992-1-2)

Tabellene er utviklet på empirisk basis, og er verifisert av erfaring og teoretisk evaluering av tester. Disse dataene kommer fra konservative antagelser for vanlige konstruksjons konstruksjonene. For noen spesielle batong typer er det ofte mer spesifikke tabulerte data i produktstandardene. Tabulerte data tar hensyn til kravet om å forhindre eksplosiv avskalling for alle eksponerings klasser i Tabell 4.1 i ENV 1992-1-1 og videre kontroll er ikke påkrevd.

Verdiene som er gitt i de tabulerte tabellene, gjelder kun for normal vekt betong lagd med sandholdig/kiselholdig aggregater.

Hvis kalkholdig aggregater er benyttet i bjelker/dragere og plater/blokker kan enten minimums dimensjonen på tverrsnittet eller minimums verdien på armeringsdybden,  $a$ , til armeringsstål, reduseres med 10 %.

For lettaggregats betong med en ovnstørr tetthet opp til  $1200 \text{ kg/m}^3$  kan man redusere med 20 %, unntatt for ikke lastbærende vegger.

For tettheter mellom  $1200 \text{ kg/m}^3$  og  $2000 \text{ kg/m}^3$  er lineær interpolasjon tillatt.

De tabulerte dataene tar hensyn til kravene for å forhindre eksplosiv avskalling ved alle eksponerings klassene i tabell 4.1 i ENV 1992-1-1, og videre kontroll er ikke påkrevd. Med mindre det er skrevet. Det er ikke påkrevd med videre kontroll i forbindelse med skjær og bøyespenning og forankrings detaljer, med mindre dette er spesielt poengtert i ENV 1992-1-2.

### 2.2.1.1 Begrensninger

Gjelder kun for standard branneksponeing. Verdiene som er gitt i tabellene gjelder kun for normal vekt betong som er lagd med kisel/sand holdige aggregater, hvis kalk holdige aggregater er benyttet i bjelker og dekker, kan enten minimums dimensjonen til tverrsnittet eller minimums verdien til armeringsdybden,  $a$ , reduseres med 10%.

For lettbetong aggregater med en ovnstørr tetthet opp til  $1200 \text{ kg/m}^3$  kan man redusere med 20%, utenom for ikke lastbærende vegger. Lineær interpolasjon er tillatt for tettheter mellom  $1200 \text{ kg/m}^3$  og  $2000 \text{ kg/m}^3$ .

### 2.2.2 Forenklet beregningsmetode:

Forenklet beregningsmetode for spesifikke konstruksjons typer. Denne metoden bestemmer den ultimate lastbærings kapasiteten til et oppvarmet tverrsnitt. Metoden kan brukes til konstruksjoner utsatt for standard branneksponeing frem til tidspunktet hvor maksimal gasstemperatur oppnås.

Prosedyren brukes til beregning av den ultimate motstanden ved en spesifikk tid for en hvilken som helst brann eksponering, hvis temperatur profilene korresponderer til den eksponeringen som er kjent eller beregnet, og korrekt data for material egenskaper som korresponderer til det er benyttet.

Prosedyren går ut på å:

- Bestemme temperatur profilen til tverrsnittet, det vil si hvor dypt varmen trenger inn i betongen som en funksjon av tid. Temperaturen varierer med dybden.
- Redusere betong tverrsnittet, det vil si styrken, og på kort sikt og elastisitetsmodulen til betongen og armeringen. Dette fordi det antas at disse mister sin styrke, når de får viss temperatur.
- Beregne den maksimale lastbærende kapasitet til strukturen med det reduserte tverrsnittet, i følge reglene gitt i ENV 1992-1-1.

Strukturelle konstruksjoner burde detaljeres slik at avskalling, forankrings svikt og mangel på rotasjons kapasitet vil ha lavere sannsynlighet for å inntreffe enn svikt på grunn av bøye momenter, skjær eller aksiale laster.



Reduksjonsfaktor,  $\alpha$ , gitt i ENV 1992-1-1, er antas å være 1,0 i brann design. Derfor er den dimensjonerende trykkstyrken til betong i brann gitt i Ligning (4.12)

Temperatur profiler:

Temperaturer i en betong struktur eksponert fra en brann kan bestemmes fra tester eller fra beregning. Temperatur profilene gitt i Annex B kan brukes der hvor mer nøyaktig informasjon ikke er tilgjengelig.

Temperatur profilene gitt i Annex B er akseptable for å bestemme temperaturer i tverrsnitt med kisel/sand holdige aggregater og eksponert for en standard brann opp til tiden med maksimal gass temperatur. Profilene er konservative for de fleste andre aggregater, men generelt ikke for annet enn standard brann eksponering .

Redusert tverrsnitt:

Det er antatt at isothermene i sammentryknings sonen till et rektangulært tverrsnitt er parallelt med sidene.

Det brann skadde tverrsnittet er representert i et redusert tverrsnitt ved å ignorere en skadet sone med tykkelsen  $a_z$  på den brann eksponerte overflaten, som vist i Figur 4.9.

For en rektangulær figur eksponert for brann på bare en overflate er bredden antatt å være  $w$ , se Figur 4.9c. og flensen på Figur 4.9f.

Der hvor to motstående overflater er eksponert for brann, antas bredden å være  $2w$ , se Figur 4.9a, b, d, e, og staget på Figur 4.9f). For hvilken som helst rektangulær del av et element, men tilsvarende veggtykkelse  $2w$  tatt hensyn til når tykkelsen  $a_z$  er beregnet. For eksempel dekket i Figur 4.9c som er relatert til den tilsvarende veggen i Figur 4.9d, og flensen i Figur 4.9f er også relatert til den tilsvarende veggen i Figur 4.9d, men staget i Figur 4.9f er relatert til den tilsvarende veggen i Figur 4.9a.

For bunnen og endene til et rektangulært element eksponert for brann, hvor bredden er mindre enn høyden, antas verdien  $a_z$  å være den samme som er kalkulert for sidene (se Figur 4.9b, e og f).

Trykk styrken og modulene av elastisitet til det reduserte tverrsnittet ar antatt å være konstant og likt det som er beregnet for punktet M. M korresponderer til hvilket som helst punkt i det midterste bæreplan til den tilsvarende veggen.

Tykkelsen  $a_z$  til den skadde sonen og de reduserte egenskapene til betongen burde bestemmes separat for hver av de rektangulære delene av et tverrsnitt. Dette betyr at  $a_z$  kan være forskjellig for flensen til et T formet tverrsnitt, og det til staget til samme tverrsnitt (se Figur 4.9f).

Den reduserte trykk styrken  $f_{cd}(\Theta_M)$  ved punkt M i et element eksponert for brann på begge sidene er etter Ligning (4.13)

Den reduserte kort tids modul av elastisitet ved dette punktet er gitt i Ligning (4.14).

Kort tid verdien til modul av elastisitet tar ikke hensyn til effekten av kryp eller forbigående belastning, den delen av den termiske utvidelsen forhindret av trykk belastninger.

Der hvor andre rekke effekter for søyler og vegger trengs å ta hensyn til, burde metoden gitt i ENV 1992-1-1 brukes sammen med disse verdiene til moduler av elastisitet og det reduserte tverrsnittet. (Verdien til  $E_{cd}(\Theta_M)$  kan ikke hentes fra Annex A hvor kryp og forbigående belastning er inkludert i dataene.

Den skadde sonen  $a_z$  estimeres for en tilsvarende vegg eksponert på begge sidene på følgende måter:

- Halve tykkelsen til veggen  $w$  er delt inn i  $n$  parallelle soner med like store tykkelser, hvor  $n \geq 3$  (se Figur 4.10).
- Temperaturen er beregnet for midten av hver sone.
- De korresponderende reduksjonene  $k_c(i)$  til trykk styrken til betong er bestemt.
- Den reduserte trykk styrken og den skadde sonen,  $z$ , kan estimeres etter Annex B for en standard brann eksponering frem til tidspunktet for maksimal gass temperatur eller ved den følgende prosedyren.

Den gjennomsnittlige reduksjons koeffisienten inkorporer en faktor  $(1-0,2/n)$  som tillater variasjonen i temperatur inne i hver sone, kan beregnes etter Ligning (4.15)  
Bredden til skadd sone for bjelker, dekker og elementer utsatt for skjær i samme plan kan beregnes ved å bruke Ligning (4.16)

For søyler, vegger og andre elementer hvor indirekte effekter kan beregnes ved å bruke Ligning (4.17)

Armeringen er tatt med i beregningen ved redusert styrke og moduler av elastisitet i følge temperaturen i hver stang, selv om det er plassert utenfor det reduserte tverrsnittet, se Annex B.

For sammentrykning i stenger burde en belastning på 0,2% hos den korresponderende belastnings reduksjonen benyttes. For stenger i strekk kan men ta med en økende spenning som en effekt av en større belastning i beregningen.

Reduksjonen på modulene av elastisitet til en stang kan antas å være lik reduksjonen til 0,2% spenningen på stangen.

Bjelker og dekker kan bli over forsterket. For å analysere dette kan den på kort sikt verdien til  $\varepsilon_{cu,max}$  antas etter Ligning (4.18)

I situasjoner hvor en større belastning enn 0,2% antas for armeringen, burde det verifiseres at denne større belastningen inntreffer ved den ultimate grense tilstanden under brann forhold.

### 2.2.2.1 Begrensninger:

Det oppgis kun temperatur profiler og material data for standard brann eksponering opp til tidspunktet for maksimal gasstemperatur.

Temperatur profilene gitt i Annex B er ikke konservative for andre eksponeringer enn standard brann eksponering.

### 2.2.3 Generell beregningsmetode:

Generelle beregningsmetoder kan brukes for individuelle konstruksjoner, delkonstruksjoner eller for hele strukturer og alle typer tverrsnitt.

Generelle beregningsmetoder skal fremskaffe realistiske analyser av strukturer som er eksponert for brann. De skal baseres på fundamental fysisk oppførsel som leder til en pålitelig tilnærming til den forventede oppførelsen til den relevante struktur komponenten under brann forhold.

Generelle beregnings metoder kan inkludere separate under modeller for å bestemme:

- utviklingen og distribusjon av temperaturen innenfor strukturelle elementer (termisk reaksjons modell).
- den mekaniske oppførselen til strukturen eller noen deler av den (mekanisk reaksjons modell).

Alle potensielle svakheter som ikke er dekket av den generelle beregningsmetoden skal ekskluderes ved hjelp av passende detaljanalyse. (F.eks for lite rotasjons kapasitet, avskalling, lokal forvridning på sammentrykket armering, skjær og bindings svikt, skade på forankrings anordninger).

Generell beregnings metode kan brukes sammen med alle varme kurver, hvis material egenskapene er kjent for den relevante temperatur – variasjonsbredden.

#### **Termisk reaksjon**

Generell beregnings metoder for termisk reaksjon skal baseres på anerkjente prinsipper og antagelser om teorien til varme transport/overføring.

Den termiske reaksjons modellen skal ta hensyn til:

- De termiske påvirkningene i følge ENV 1991-2-2
- De temperatur avhengige termiske egenskapene til materialene som spesifisert i relevante dokumenter (se Annex A) bidraget fra beskyttende lag, hvis det er noen.

Påvirkningen av fukt innhold og fukt vandringen inne i betongen eller i beskyttende lag, hvis det er noen, kan konservativt anses som neglisjerbare.

Temperaturprofilen i et armert betong konstruksjon kan beregnes avskilt fra armeringen. Effekten av ikke-uniform termisk eksponering og varme transport til tilstøtende bygnings komponenter kan inkluderes der det er hensiktsmessig.

## Mekanisk reaksjon:

Generelle beregningsmetoder for mekanisk reaksjon skal bareres på anerkjente prinsipper og antagelser fra teorien om strukturell mekanikk, som tar hensyn til at de mekaniske egenskapene endrer seg med temperaturen. Deformasjonen ved maksimal grense tilstand underforstått ved beregningsmetodene skal begrenses nødvendig, slik at kompatibilitet er opprettholdt mellom alle deler av strukturen.

Der det er relevant skal den mekaniske reaksjons modellen ta hensyn til geometriske ikke-lineære innvirkninger. Effekten av termisk fremkalte spenninger og belastninger. Både pga temperaturøkning og temperatur forskjeller, skal det tas hensyn til. Den totale spenningen kan beregnes ved ligning (4.15).

Under brann eksponeringen kan man se bort fra krypspenningen, bidraget fra den kan bare være betydelig ved beregning av nedbøying etter brann.

## Kontroll av generelt beregningsmetoder

Kontrollen/gyldigheten av den generelle beregningsmetoden skal verifiseres med følgende prosedyre:

- Begrunnelsen for brann design antagelsene skal gjøres på basis av relevante test resultater.
- Sensitivitets analyser av effekten på de kritiske parametrene skal gjennomføres.

## Skjær og vridning

Skjær og vridnings kapasiteten kan beregnes i følge de metodene som er gitt i ENV 1992-1-1 ved å bruke reduserte material egenskaper og redusert forspenning for hver del av seksjonen.

- Når man bruker den Forenklete beregningsmetoden, kan man bruke ENV 1992-1-1 direkte på det reduserte tverrsnittet. Hvis det ikke er skjærkraft armering eller skjær kapasiteten hovedsakelig er avhengig av den reduserte strekkstyrken til betong, må man ta hensyn til den reelle skjærkraft adferden på betong ved forhøyede temperaturer.
- I fraværet av mer nøyaktig informasjon om reduksjonen på strekkraften til betong, verdiene til  $k_{ct}(0)$  som er gitt i Figur A.1 (Annex A) kan benyttes.
- Ved bruk av den forenklete beregningsmetoden til konstruksjoner hvor skjærkraft kapasiteten er avhengig av strekkraften, må man ta spesielt hensyn til der hvor strekkraft er forårsaket av ikke-lineære temperatur fordeling (f.eks hule dekker, tykke bjelker, etc.) En reduksjon i skjær kraft burde kan sammenlignes med disse strekkraftene.

### **Forankring/avspenning:**

Der hvor det av brann årsaker er nødvendig, må forankrings/avspennings kapasiteten beregnes i følge ENV 1992-1-1 ved å bruke reduserte temperatur relaterte material egenskaper.

## Vedlegg 3: ENV 1993-1-2 Stål

### 3.1 Generelt

Når en stål konstruksjon som blir utsatt for brann, fører det til en temperatur økning i tverrsnittet. Hvor hurtig temperatur økningen i stål konstruksjonen er, avhenger av effekten på brannen, hvor store arealene er som eksponeres, tykkelsen og hvilke type brann isolerende material som eventuelt brukes.

Stål har en mye høyere varmeledningsevne, enn de fleste andre konstruksjonsmateriale. Når temperaturen øker i stålprofilen, fører dette til reduksjon av stålets styrke og stivhetens egenskaper. Reduksjon av stålets styrke og stivhetsegenskapene kan føre til deformasjon og svikt. Ved de samme temperaturøkningene vil stålet ekspandere/utvide spesielt i langsgående retning.

#### Forlengelse:

I ENV 1993-1-2 anbefales den en forlengelsen som en lineær koeffisient på  $14 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ . I forenkelt beregningsmetode er det mulig å utrykke forlengelsen for stål, ved følgende ligning:

$$\Delta l / l = 14 \cdot 10^{-6} (\theta - 20)$$

Hvor:  $\theta$  er temperaturen for stål

Ved dimensjonering av enkelte konstruksjoner så som enkelte bjelker er det ikke nødvendig å beregne forlengelse, videre er det ikke nødvendig å ta hensyn av effekten av den termiske forlengelsen.

Ved prosjektering av stål konstruksjoner kan konstruksjonen enten være isolert eller uisolert. I beregninger i avanserte beregnings metode skal man bruke seg av verdier for forlengelse i ENV 1993-1-2, 3.3.1.1.

#### Uisolert:

Her er stålkonstruksjoner ubeskyttet. Brann eksponeres da direkte på stålkonstruksjonen. Konstruksjonen klare en brann så lenge den ikke har for tung lastbærende funksjon og ikke utsettes for høye temperaturer.

Uisolert stål kan brukes der man vil at stål konstruksjonen og skal ha en arkitektonisk funksjon.

### **Isolert:**

Her er stål konstruksjoner isolert med brann isolerende material. Konstruksjonen er innkledd med et brannisolerende material som skal forsinke oppvarmingen av stål konstruksjonen. Andre eksempler for isolasjon er vann fylte konstruksjoner.

### **Varme skjærmer:**

I visse situasjoner er det behov for å bruke flamme skjærmer for å beskytte eksterne stålkonstruksjoner som, når det foreligger en risiko for stråling eller direkte branneksporing gjennom flammer som slår ut gjennom vinduer.

## **3.2 Beregningsmetoder**

Når en skal utføre vurderinger på oppførselen til stålkonstruksjoner i en brann situasjon, skal en gjøre dette på en av følgende, eller en kombinasjon av dem:

- Forenklet bereknings modell
- Avansert bereknings modell
- Tester

Hvor ingen forenklet beregningsmetode er gitt, er det nødvendig å benytte enten en dimensjonerings metode, basert på den avanserte beregningsmetoden. Eller benytte en metode basert på test resultater.

I dette prosjektet har vi valgt å konsentrere oss på forenklet beregnings modell og avansert beregnings modell.

### 3.2.1 Forenklede beregningsmetoder

Den forenklede beregningsmodellen kan brukes for enkle konstruksjoner og med som har en ukompliserte strukturer.

Beregnings resultatene gir oss et enklere resultatet og som kan ses på som mer konservativt en et resultat beregnet med avanserte beregningsmodell.

For å komme frem til det generelle forholdet mellom  $E_{fi,d}$  og  $R_{fi,d,t}$ , kan man i ENV benytte seg av forskjellige metoder.

Følgende metoder benyttes i ENV 1993-1-2:

- Klassifisering av tverrsnitt. I brannsituasjon skal denne klassifiseringen følge beskrivelsen i ENV 1993-1-1, avsnitt 5.3. Den skal ta hensyn til spennings og tøyings forholdet til stål ved forhøyede temperaturer
- Beregning av motstand. Her tar man utgangspunkt i beregninger av holdfastheten. Den påkjenningen en konstruksjon forventes å utsettes for i en brann situasjon skal være større en den dimensjonerende ulykkes påkjenningen.
- Kritisktemperatur. Her beregner en stålets kritiske temperatur, og gjør videre beregninger for å fastsette temperaturen i konstruksjonen etter en bestemt tid med brann eksponering.

Det kommer å fokuseres på beregning med kritisk temperatur.

Ved beregninger av forenklede beregnings metode skal man bruke fastsatte verdier.

Konduktiviteten for stål er:  $\lambda = 45 \text{ W/mK}$

Ved beregninger i avanserte beregnings metode skal man bruke seg av verdier for konduktiviteten i ENV 1993-1-2, 3.3.1.3.

Spesifikke varme kapasiteten for stål:  $C_a = 600 \text{ J/kgK}$

Ved beregninger i avanserte beregnings metode skal man bruke seg av verdier for spesifikke varme kapasiteten for stål i ENV 1993-1-2, 3.3.1.2.



### 3.2.1.1 Kritisk ståltemperatur

Ved beregninger av kritisk ståltemperatur må man gå ut i fra at konstruktøren har gjennomført beregninger på de aktuelle lastene. Konstruktøren har fastsatt forholdet mellom:  $E_{fi,d} < R_{fi,d,t}$  og konstatert at konstruksjonen holder for den aktuelle lastpåkjenningen. Dette gjennomføres etter ENV 1993-1-1. Med spesielle motstands kriterier for konstruksjonen i ENV 1993-1-2, avsnitt 4.2.3.

Den kritiske ståltemperatur er den maksimale temperaturen stålprofilen kan for å opprettholde son holdfasthet for fortsatt a inneha sin bærende funksjon .

For å kunna fastsette den kritiske temperaturen for stålkonstruksjonen må utnyttelsesgraden,  $\mu_0$ , være kjent.  $\mu_0$  er en forhold mellom  $E_{fi,d}$  og  $R_{fi,d}$ . Forholdet skal ligge mellom 0,22-0,80.

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0}$$

Den kritiske temperaturen som funksjon av utnyttelsesgraden,  $\theta_{a, cr}$ , gis i følgende ligning:

$$\theta_{a, cr} = 39.19 \text{ LN} (1 / ((0,9674 \mu_0^{3,833}))) + 482$$

(Er utnyttelsesgraden kjent, kan tabulerte verdier benyttes, for å fastsette den kritiske temperaturen, se tabell 4.1.)

Beregningsgangen er følgende;

Når man vet den kritiske temperaturen,  $\theta_{a, cr}$ , beregnes temperaturen i stålkonstruksjonen etter den forventede tiden for brann eksponering. For at konstruksjonen fortsatt skal inneha sin bærende funksjon, må ståltemperaturen,  $\theta_{a,t}$  ved tiden t, være mindre enn den kritiske temperaturen. Her skiller en mellom om stålkonstruksjonen som utsettes for branneksponeering er isolert eller uisolerte.

Derav skal  $\theta_{a,t} \leq \theta_{a, cr}$ .

### 3.2.1.2 Temperatur utvikling til uisolert stål

I dette tilfellet eksponeres stålet direkte for brann. Temperaturøkningen kan betraktes som en akkumulering av den siste målte temperatur verdien, subtrahert med temperatur økningen i det siste tidsintervallet. Dette vises med følgende ligning:

$$\Delta\theta_{a,t} = (A_m/V) * (1 / (c_a \rho_a)) h_{net,d} \Delta t$$

Hvor:  $\frac{A_m}{V}$  er profilfaktoren. [ $m^{-1}$ ]

$c_a$  er spesifikk varme kapasitet til stål. [J/kgK]

$\rho_a$  er tettheten til stål, konstant for beregninger i ENV 7850 kg/m<sup>3</sup>.

$\dot{h}_{net,d}$  er dimensjonerende netto varmestrøm verdi per areal enhet, endres ved tid. [W/m<sup>2</sup>], henviser til vedlegg 1.1.3

$\Delta t$  er tidsintervall. Tidsintervallet må ikke overskride 5 sek.

Profilmfaktoren,  $A_m/V$ , er et sentralt parameter ved beregninger i ENV 1993-1-2. Profilmfaktoren beskriver hvor hurtig temperaturen øker i tverrsnittet, med hensyn på hastigheten til varmetransporteren i stålet. Denne hastigheten er direkte proporsjonal med flaten som branneksponeeres. Profilmfaktoren kan enten beregnes eller hentes direkte fra tabulerte verdier.

Ved beregninger i ENV 1993-1-2 skal profilmfaktoren ha et forhold som ikke er mindre enn  $10 \text{ m}^{-1}$ .

### 3.2.1.3 Temperatur utviklingen til beskyttet stål

$$\Delta\theta_{a,t} = (\lambda_p A_m/V) / (d_p c_a \rho_a) ((\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) / (1 + \Phi / 3)) \Delta t - (e^{\Phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

Her gjelder  $\Delta\theta_{a,t} \geq 0$ .

Hvor:  $\lambda_p$  er den termiske konduktiviteten til isolasjonsmaterialet. [W/mK]

$\theta_{g,t}$  er gasstemperaturen ved tiden t. [°C]

$\theta_{a,t}$  er stål temperaturen ved tiden t. [°C]

$\Delta t$  er tidsintervaller, tidsintervallet må ikke overstige 30 sek.

$\Delta\theta_{g,t}$  er branngassens temperaturøkning i tidsintervallet  $\Delta t$

$$\Phi = (c_p \rho_p) / (c_a \rho_a) d_p A_p / V$$

Hvor:  $c_p$  er spesifikk varmekapasitet til beskyttende materiale. [J/kgK]

$\rho_p$  er tettheten til isolasjonsmaterialet. [kg/m<sup>3</sup>]

$d_p$  er tykkelsen til isolasjonsmaterialet. [m]

### 3.2.2 Temperatur utviklingen til utvendigstål

Utvendig stål konstruksjoner kan i visse tilfeller utsettes for branneksponeering. Gjennom den radielle strålingen fra brannen, eller direkte branneksponeering, er det mulig at konstruksjonen etter en viss tid med branneksponeering mister sin bæreevne. Det er mulig å beskytte konstruksjoner hvor dette medfører en fare med varme skjærmer. Denne metoden er nærmere beskrevet i Aennex C.

### 3.2.3 Avanserte beregningsmetoder

Beregninger med avansert beregnings metoder er mer omfattende og tidskrevende, men gir beregningene en større grad av nøyaktighet.

Avanserte beregningsmetoder kan benyttes til individuelle konstruksjoner, del konstruksjoner eller for hele konstruksjoner, og den kan benyttes for alle typer tversnitt.

Data som fastsettes gjennom avanserte beregningsmetoder skal fremskaffe en realistisk analyse av konstruksjoner eksponert for brann.

De skal baseres på fundamental fysisk oppførsel, på en slik måte at de fører til en troverdig tilnærming av den forventede oppførselen, det relevante konstruksjonselementet vil ha under en brann situasjon.

#### Termisk respons:

- Avanserte beregnings metoder for termisk respons skal baseres på anerkjente prinsipper og antagelser av varme transport teorier.
- Innvirkningene av fuktinnholdet kan ses bort ifra i brannbeskyttende

#### Mekanisk respons

Avanserte beregnings metoder for mekanisk respons baseres på anerkjente prinsipper og antagelser av teorien om strukturell mekanikk, og ta hensyn til forandringene av mekaniske egenskaper etter temperatur.

Der hvor det er relevant, skal den mekaniske responsen for metoden, ta hensyn til:

- Den kombinerte effekten av mekaniske – og termiske påvirkninger og geometriske unøyaktigheter.
- De temperatur avhengige mekaniske egenskapene til materialet.
- Geometriske ikke – lineære effekter.
- Effekten av ikke – lineære material egenskaper, inkludert de fordelaktige effektene av belastninger og avlastinger på stivheten til konstruksjonen.

Man må forsøke å begrense deformasjon så mye som mulig, for å forsikre seg om at stabiliteten er opprettholdt mellom alle delene av konstruksjonen.

### **3.2.4 Tabulerte data**

Tabulerte data finnes til en hvis utstrekning. Hvis man vet utnyttelses graden og profilm faktoren til en konstruksjon, kan man benytte tabell og få den kritiske ståltemperaturen for en stålprofil.

Ved bruk av de mest vanlige konstruksjons løsningene kan man benytte tabulerte verdier fra de respektive leverandørene

## Vedlegg 4: ENV 1994-1-2 Betong/Stål

### 4.1 Generelt

Betong konstruksjoner er kjent for å tåle branneksponeering bra. Dette fordi betong ikke er brennbart og har lav termisk ledningsevne. Grunnen til at betong har lav termisk ledningsevne er på grunn av den inneholder sement. Sementen får en endotermisk funksjon, som medfører reduksjon av temperatur økningen i betong.

Betong inneholder armeringsstål, fordi betong har dårlig strekkstyrke, og strekkreftene i konstruksjonen blir tatt opp av stålstenger, altså armeringsstål.

For at betong konstruksjoner skal beholde sin bærende funksjon under et brannforløp, blir armeringsstålet beskyttet av den varmeisolerende betongen slik at resttverrsnittet (kjernen) til konstruksjonen ikke mister sine bærende egenskaper.<sup>[9]</sup>

For mer informasjon om betong, refereres det til kapittel 5.2 i rapporten.

Når stål konstruksjoner utsettes for brann får stålet høye temperaturer, som fører til at styrken og stivheten til stålet blir redusert.

Med hensyn på den anvendte lasten og hvordan stålet er støttet opp, kan dette føre til deformasjon og svikt. Økningen av stål temperaturen avhenger av effekten fra brannen og arealet av stål konstruksjonen som blir utsatt, og hva og hvor mye brannbeskyttende materiale som er benyttet på stålet.

Stål tåler branneksponeering veldig dårlig, dette pga. at stål har forholdsvis lite tverrsnitt og har høy termisk ledningsevne. Stål er stort sett dekket av brannbeskyttende materialer, fordi stålkonstruksjoner skal opprettholde sin bærende funksjon under branneksponeering.<sup>[9]</sup>

For mer informasjon om stål, refereres det til kapittel 5.3 i rapporten.

Hvis de to materialene kombineres, kan man utnytte begge materialenes gode egenskaper.

Fordelen ved begge er at de har god trykkstyrke.

Ulempene materialene har hver for seg oppveies av hverandre. Betongens dårlige strekkstyrke reduseres pga stålets gode strekkstyrke, og stålets høye termiske ledningsevne reduseres med betongens isolerende funksjon.

Når en da kan benytte disse egenskapene sammen kan man optimalisere konstruksjonen, og få mindre dimensjoner på bærende konstruksjoner enn hvis en kun benytter en av dem. Videre føre dette til en rimeligere konstruksjon, og i tillegg gir kombinasjonen bra holdbarhet i korroderende miljøer.<sup>[9]</sup>

## 4.2 Beregningsmetoder

ENV 1994-1-2 omhandler dimensjonering av konstruksjoner bestående av sammensatt stål og betong under brannekspnering, og skal brukes i sammenheng med ENV 1991-2-2.

ENV 1994-1-2 tar kun for seg passivbrannbeskyttelse. Den tar og hensyn til at søyler blir brannekspnert fra alle sider, mens bjelker blir brannekspnert fra kun tre sider.

ENV 1994-1-2 tar for seg følgende beregningsmetoder:

- Tabulerte data – detaljering i følge anerkjente dimensjonerte løsninger. Dette er den enkleste metoden. De fleste data kan hentes fra generelle tabeller.
- Forenklete beregningsmetoder for spesifikke elementer. Denne metoden er litt mer kompleks enn den foregående. Også her benyttes verdier som hentes fra tabeller, men disse verdiene modifiseres for å passe bedre til de spesifikke elementene de skal benyttes i.
- Generelle beregningsmetoder for å simulere oppførselen til konstruksjonselementer, del konstruksjoner eller hele konstruksjoner. For å kunne gjennomføre en beregning etter denne metoden kreves det enda mer spesifiserte data. Dette er en mer krevende metode.

### 4.2.1 Tabulerte data

Bruken av tabulert data grenser seg til beregninger av individuelle konstruksjonselementer, som er utsatt for direkte brannekspnering over deres fulle lengde. Termiske laster skal tas hensyn til i sammenheng med standard branntilstander, og samme temperatur fordeling antas å være langs lengden på konstruksjonselementet.

Tabulerte data skal gi konservative resultater sammenliknet med relevante tester eller avansert beregningsmodeller. Der hvor tabulert data ikke strekker til, skal en bruke avanserte beregningsmodeller eller tester som er utført på konstruksjonselementer.

Denne beregningsmetoden tar for seg:

- Sammensatte stålbejelker, delvis dekket med betong, Fig 1.5, ENV 1994-1-2
- Sammensatte søyler av stål, totalt dekket av betong, Fig 1.6, ENV 1994-1-2
- Sammensatte søyler av stål, delvis dekket av betong, Fig 1.7, ENV 1994-1-2
- Sammensatte søyler laget av hule seksjoner fylt med betong, Fig 1.8, ENV 1994-1-2

#### 4.2.1.1 Sammensatte stålbejelker, delvis dekket med betong

Sammensatt stålbejelke delvis dekket av betong (figur 1.5) blir klassifisert i funksjoner av last nivåer  $\eta_{fi,t}$ , bejelken bredden  $b$ , og i tillegg armeringen  $A_s$  relatert til bunn flens  $A_f$ , som gitt i tabell 4.1

Verdiene i tabell 4.1 er gyldige for enkle støtte bejelker.

For å bestemme  $R_d$  og  $R_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} * R_d$  i sammenheng med tabell 4.1, skal følgende tilstander betraktes:

- Tykkelsen til steget  $e_w$  skal ikke overstiger  $1/15$  av bredden  $b$ .
- Tykkelsen av bunnflensen  $e_f$  ikke overstiger den doble tykkelsen til  $e_w$
- Tykkelsen av betong plate  $h_c$  er minst 120 med mer
- $A_s/(A_c + A_s)$  ikke overstiger 5%
- Verdien av  $R_f$  er beregnet på basis fra ENV 1994-1-1 forutsatt at:
  - den effektive bredden på platen  $b_{eff}$  ikke overstiger 5m
  - $A_s$  ikke er med beregnet.

Verdiene i tabell 4.2 er gyldig for konstruksjonsståls kvaliteten Fe 510. Hvis en annen type stål er brukt, er minimal verdien for tillegg armeringen gitt i tabell 4.1.

Verdiene gitt i tabell 4.1 er gyldige for stål kvalitet S500 brukt for tillegg armering  $A_s$ . Verdiene gitt i tabell 4.1 og 4.2 er gyldige for bejelker i kontakt med betong gulv med profilerte stål plate. Hvis minst 90% av den øverste overflaten av stålprofilen er direkte beskyttet av stål platen, hvis ikke, må store fyllmasser benyttes på det øverste laget av bejelkene.

Hvis tillegg armering trengs å bruke for å øke tverrsnittet, minste avstanden fra kanten av betongen til senter av armerings stangen, gitt i tabell 4.2 er påkrevd.

Hvis betongen som dekker stål bejelken kun har isolerende funksjon, brannmotstanden R30 til R180, kan bli tilfredstilt for betong dekke  $c$  av stål seksjoner i følge tabell 4.3

#### 4.2.1.2 Sammensatte søyler

De dimensjonerende tabellene 4.4 til 4.7 er gyldige for sammensatte søyler som støtteramme under følgende tileggs tilstander:

- At søylen på fundamentnivået må ta hensyn til at det er full kontaktet med søyler over og under.
- At brannen begrenser seg til en etasje.

Under de ovennevnte betingelsene, er det antatt at begge endene av søylen motstår vridning under branneksporing, slik at knekk lengden i brann situasjoner er lik 0,5 ganger søyle lengden.

For å bestemme  $R_d$ , må den dimensjonerte lastbæreevnen for normale temperaturer, og knekk lengden være lik søyle lengden.

For gulv i topp etasjer, har  $R_d$  en antatt knekk lengde på 1,4 ganger den virkelige lengden på søylen.

Tabell 4.4 til 4.7 er gyldige for konsentrisk akse eller eksentriske laster på søylene.

For å bestemme  $R_d$ , den designet lastbæreevnen under normal dimensjonerende temperatur, skal den eksentriske lasten taes hensyn til.

Tabulert data gitt i tabell 4.4 til 4.7 er gyldige for søyler med maks lengde på 30 ganger den minste dimensjonen på tverrsnittet til eksterne søyler.

#### 4.2.1.3 Sammensatte søyler av stål, totalt dekket av betong

Sammensatte stålsøyler klassifiseres ut fra dybden, gitt i de to alternative løsningene i tabell 4.4

Armeringen skal bestå av minimum 4 plater med en diameter på 12 mm .

Hvis betongen som dekker stålseksjonen kun har isolerende funksjon, kan brannmotstanden R30 og R180 oppfylles for betongdekke, for stålseksjoner i følge tabell 4.5

Når betong dekke kun har isolerende funksjon, skal armeringsstrukturen ha maks mellomrom på 250 mm i begge retninger, som plasseres rundt seksjonen, bortsett for R30 konstruksjoner.

#### 4.2.1.4 Sammensatte søyler av stål, delvis dekket av betong

Sammensatte søyler med delvis omsluttet stålseksjoner kan klassifiseres ut fra belastnings nivået  $\eta_{fi,t}$ , dybden, minimums akse avstanden for armerings platene, og forholdet mellom stegtykkelsen og tykkelsen på flensen som gitt i tabell 4.6.

For å bestemme  $R_d$  og  $R_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} * R_d$  i forbindelse med tabell 4.6, skal armerings forholdet  $A_s/(A_c + A_s)$ , som er høyere enn 6% eller lavere enn 1% ikke medregnes.

I tabell 4.6, kan minimums forholdet mellom steg- og flenstykkelsen,  $e_w/e_f$ , kan settes lik 0,6 isteden for 0,7, forutsatt at profil dybden er minst 350mm og armerings forholdet  $A_s/(A_c + A_s)$  er minst 3%.



#### 4.2.1.5 Sammensatte søyler laget av hule seksjoner fylt med betong

Sammensatte søyler med hullede betongseksjoner, kan klassifiseres som funksjonen for belastnings nivå  $\eta_{fi,t}$ , tverrsnittets størrelse, armeringsforholdet  $A_s/(A_c + A_s)$  og minste akseavstanden for armeringsplatene etter tabell 4.7.

Ved beregning av  $R_d$  og  $R_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} * R_d$ , i forbindelse med tabell 4.7, skal følgende anvendes:

- At uansett stål kvalitet for hul seksjoner, må en nominell styrke punkt på 235 N/mm<sup>2</sup> beregnes
- At veggtykkelsen for den hule seksjoner, er beregnet opp til en maksimum på 1/25
- At hvis armeringsforholdet  $A_s/(A_c + A_s)$  er høyere enn 3% , skal det ikke tas hensyn til
- At betong styrken er beregnet for normal dimensjonerende dimensjonerende temperatur

Verdiene gitt i tabell 4.7 er gyldige for stål kvalitet S500 som er brukt til armering  $A_s$ .

#### 4.2.2 Forenklede beregningsmetoder

Bruken av forenklede beregningsmetoder grenser seg til beregninger av individuelle konstruksjonselementer, som er utsatt for direkte branneksposering over deres fulle lengde.

Termiske laster skal tas hensyn til i sammenheng med standard branntilstander, samme temperatur fordeling antas å være langs lengden på konstruksjonselementet.

Der hvor forenklede beregningsmodellere ikke strekker til, skal en bruke avanserte beregningsmodeller eller tester som er utført på konstruksjonselementer.

#### 4.2.2.1 Ubeskyttet sammensatte plater

Følgende regler appellerer til beregning av standard brannmotstand for både enkel støtte- og sammenhengende betong plater med stålplater og armering. Når en får oppvarming fra undersiden fra standardbrann.

Denne metoden er kun anvendelig ved direkte oppvarmede stål plater som ikke er beskyttet ved noe isolering og betong plater uten isolering mellom platen og dekker (figur 4.1)

For sammensatte betong plater med profilerte stålplater, med eller uten armering, er brannmotstanden satt til 30 min.

Brannmotstanden med hensyn på termisk isolasjon "I", avhenger kun av den effektive tykkelsen på platen.

Den effektive tykkelsen er gitt ved formelen  $h_{eff}$

$$h_{eff} = h_1 + 0,5h_2 \left( \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) \quad \text{for } h_2/h_1 < \text{og } h_1 > 40 \text{ mm}$$

$$h_{eff} = h_1 \left( 1 + 0,75 \left( \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) \right) \quad \text{for } h_2/h_1 > \text{og } h_1 > 40 \text{ mm}$$

Forholdet mellom brannmotstand med hensyn på termisk isolasjon og minimum effektiv plate tykkelse  $h_{eff}$  er gitt i tabell 4.8 for normal brannmotstand.

Tykkelsen  $h_3$  på skjerm laget skal ikke bli større enn 20mm av den beregnede  $h_{eff}$ .

"R" avhenger av hvis lastbærende motstanden i brannsituasjoner  $R_{fi,d,t}$  for plater synker til et nivå likt den dimensjonerende last effekten i brannsituasjoner,  $E_{fi,d}$ .

Lastbærende motstand i brannsituasjoner  $R_{fi,d,t}$  er beregnet på basis fra plastisk global analyse.

Effekten av både strekkfastheten og styrken på stål platen kan ignoreres

(4) og (5) fra 4.3.1.2 må oppfylles for å lave temperaturer i øvre del av betong platen.

Forholdet mellom temperaturen  $\theta_s$  for armeringsstålet støpt ned i normal betong, med standard brannmotstand, skal bli gitt fra tabell 4.9, ved å bruke:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} \quad u_1, u_2 \text{ og } u_3 \text{ er akse avstanden til armeringsstålet}$$

$$u_1 \text{ og } u_2 > 50 \text{ mm}$$

$$u_3 > 35 \text{ mm}$$

Som en konservativ forenkling kan sammensatte plater bli erstattet av plater med uniform tykkelse som er lik den effektive tykkelsen  $h_{eff}$

Temperatur området,  $\theta_c$ , for betongplaten kan tas fra tabell 4.10 for ulike tidsintervaller med hensyn på brann .

Maks spenningsnivå  $f_{smax,\theta}$ , for armeringsstålet plassert i strekksonen til konstruksjonen, skal temperatur  $\theta_s$  være lik  $\theta_c$ , som er temperaturen i betongplaten ved armeringsstangen. Tabell 4.10

#### 4.2.2.2 Beskyttet sammensatte plater

En forbedring av brannmotstanden til sammensatte plater. Kan dette oppnås ved å bruke et beskyttelses system, for å redusere varmetransporten til platene.

Den termiske isolasjonen "I" finner en ved å trekke fra minimum effektive tykkelsen  $h_{eff}$ , som er gitt i tabell 4.8, fra den ekvivalente betong tykkelsen av beskyttelses materialet.

"R" er innfridd så lenge temperaturen for stålplatene i de sammensatte platene, er lavere eller lik  $350^{\circ}\text{C}$ , når en får varmen under ifra i standard brann.

#### 4.2.2.3 Sammensatte bjelker av stål, ikke dekket av betong

Følgende vurdering av brannmotstanden i sammensatte bjelker av stål, ikke dekket av betong er at disse har kun støttende funksjon.

Med hensyn på integrering og isolasjon på betong bjelker, gjelder ENV 1992-1-2.

For sammensatte bjelker av stål, ikke dekket av betong, skal tilsvare bruken av klasse 1 og 2 ved tverrsnitts tilstand fra ENV 1993-1-2.

For enkle støtte bjelker, kan komprimert stål flens klasse 3 kan brukes som klasse 2, forutsatt at det er i kontakt med betong plater ved å dele skjøtestykke.

#### Stålbjelke

For beregning av temperatur fordelingen i stål seksjonen, tverrsnittet kan deles i forskjellige deler, Figur 4.3

Det forventes at ingen varmetransport skjer mellom disse forskjellige delene, verken ved øvre del av flensen og betongplaten.

Den stigende temperaturen  $\Delta\theta_{a,t}$  for forskjellige deler av en ubeskyttet bjelke i tidsintervallet  $\Delta t$ , er gitt ved:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{1}{c_a \rho_a} \frac{A_i}{V_i} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad [^{\circ}\text{C}]$$

## Flat betong eller sammensatt bjelke

En uniform temperatur fordeling antas å være over den effektive bredden  $b_{eff}$  av betong bjelken.

Temperaturene i betongbjelken kan tas fra tabell 4.10.

For mekanisk analyse kan det antas at, for temperaturer i betong under  $250^{\circ}\text{C}$  er det ingen reduksjon i styrken.

## Konstruksjonens oppførsel – kritisk temperatur modell

Ved bruk av denne, antas temperaturen til stål seksjonen å være uniform.

Metoden er anvendelig for symmetriske seksjoner med en maksimum dybde på 500 mm, en bjelke dybde, bør ikke være mindre enn 120mm. Når disse blir brukt som enkel støttebjelke, utelukkende gjenstand for nedbøyingsmoment.

Kritisk temperatur  $\theta_{cr}$  kan bestemmes ut fra last nivåer  $\eta f_{i,t}$  og anvendes på den sammensatte seksjonen og fra styrken til stålet ved høye temperaturer  $f_{smax,\theta_{cr}}$ .

Temperaturstigningen i stålseksjoner bestemmes ved å bruke faktor for tresidig eksponering på stålseksjonen  $A_m/V$ .

## Konstruksjonens oppførsel – motstand mot bøyemoment modell

Som et alternativ til kritisk temperatur metode og bjelker dypere enn 500 mm, eller for betongplater mindre enn 120mm, skal momentmotstanden beregnes som plastisk teori, med tanke på material egenskapene ved forskjellige temperaturer.

For å garantere at maksimum deformasjon på betong opprettholdes innen tillatte grenser, brukes reglene fra ENV 1992-1-2

Beregningen av nedbøyingsmoment motstand, blir gjort etter Annex D.

### 4.2.2.4 Sammensatte bjelker av stål, delvis dekket av betong

Reglene gitt her tillater en evaluering av motstanden til bøyemoment av en delvis dekket stålbjelke, som til en betongplate. Plastisk teori om redusert styrke på konstruksjoner i brann situasjoner blir medregnet.

Metoden tillater å klassifisere sammensatte bjelker i standard brannklasser R30, R60, R120 eller R180.

Ved oppvarming av tverrsnittet må temperatureffekten på materialer bli tatt hensyn til, enten ved å redusere tverrsnittet på materialet, eller multiplisere den mekaniske egenskapen til materialet med en reduksjonsfaktor.

For enkle støttebjelker, skal maks nedbøyingsmoment som følge av laster, sammenlignes med nedbøyingsmotstanden som er utregnet i 4.3.4.4

#### **4.2.2.5 Stålbjelker, delvis dekket av betong**

Hvis stålbjelker, delvis dekket av betong støtter en betong dekke, slik som på figur 1.3, skal reglene som brukes for sammensatte stålbjelker delvis dekket av betong brukes. Ved å anta at det ikke er noe mekanisk motstand på den armerte betongen.

Dette gjelder og for dekker, hvis den øverste flensen er beskyttet.

#### **4.2.3 Avanserte beregningsmetoder**

Avansert beregningsmetode skal være en realistisk analyse av konstruksjoner utsatt for brann. De skal baseres på grunnleggende fysisk oppførsel, på en slik måte at de er mest mulig lik virkeligheten.

Kan brukes for individuelle konstruksjoner, del konstruksjoner eller hele konstruksjonen.  
Kan inkludere separate beregningsmodeller for:

- Fastheten til utvikling og fordeling av temperaturen inne i konstruksjonselementer.
- Den mekaniske oppførselen til konstruksjonen eller deler av den.

De svakheter som ikke er dekket i avansert beregningsmodell (inkludert lokal knekk, stiv rotasjonskapasitet, avskalling og svikt i forskyvningen) skal elimineres på en passende måte. Skal brukes når informasjonen om spenning og belastnings utviklingen, deformasjonen eller temperaturområder forlanges.

Skal brukes i sammenheng med alle typer tid-temperaturkurve, så lenge materialet er kjent for den relevante temperatur området.

#### 4.2.3.1 Termisk respons

Avansert beregningsmodell skal baseres på kjente prinsipper og antakelser av teorien på varmetransport.

Den termiske responsmodellen skal ta hensyn til:

- Relevante termiske laster spesifisert i ENV 1991-2-2
- Variasjonen av termiske egenskapene på materialer.

Effekten av ikke-uniform termisk eksponering og varmetransport til bygningskomponenter kan inkluderes viss det passer.

Påvirkningen av fuktinnholdet og spredning av fukt i betongen og brann beskyttelses materialet, kan neglisjeres.

#### 4.2.3.2 Mekanisk respons.

Avansert beregningsmodell for mekanisk respons skal baseres på kjente prinsipper, antakelser fra teori om temperatureffekter for konstruksjons mekanikk.

Der hvor det er relevant, den mekaniske responsen skal ta hensyn til:

- Kombinert effekt for mekaniske laster, geometriske feil og termiske laster
- Temperatur avhengige mekaniske egenskaper for materialer i følge del 3.2
- Geometrisk ikke-lineær effekt
- Effekten av ikke-lineær material egenskaper, samt effekten av konstruksjoner som er ulastet

Effekten av tilførende termisk spenning og belastning, som skyldes temperatur stigning, og temperatur forskjeller, skal det tas hensyn til.

Deformasjonen ved den ultimate grensetilstanden, skal begrenses så mye som mulig, slik at samvirke opprettholdes mellom delene i konstruksjonen.

#### 4.2.3.3 Gyldigheten av avansert beregningsmodell

- Verifikasjon på beregnings resultater skal baseres på test resultater.
- Sensitiv analyse av virkningen på variasjoner på kritiske parametere skal utføres, som tillater å vurdere om modellen etterkommer ingeniørpraksis.
- Kritiske parametere kan referere til kneklengde, størrelsen på elementet, last nivået, etc.

## Vedlegg 5: ENV 1995-1-2 Tre

### 5.1 Generelt

Tre konstruksjoner har lange tradisjoner i Norge. Store deler av landet er dekket av skog, som på en forholdsvis enkel måte kan foredles til utmerkede konstruksjons materialer. Tre egner seg godt som konstruksjonsmateriale fordi det har gode styrkeegenskaper, i forhold til egenvekt. Tre er lett å behandle og har et estetisk utseende. Det finnes flere tresorter med forskjellig utseende og egenskaper, samtidig kan det benyttes i kombinasjon med andre materialer. På grunn av den gode tilgangen, og den forholdsvis enkle foredlingsprosessen, holder prisene seg på et forholdsvis lavt nivå sammenlignet med andre konstruksjons materialer.

Det er knyttet stor skepsis til tre som bygningsmateriale, spesielt i andre land som England og USA, hvor man benytter ubrennbare materialer til husbygging. Tre har faktisk meget gode egenskaper under bann. Når det først er dannet et kullag på overflaten, isolerer og beskytter det mot videre inntrenging og svekkelse av treets bæreegenskaper. Det viser seg at etter et fullstendig brannforløp kan fortsatt bærende trekonstruksjoner inneha sine bærende egenskaper. Flere brannekspnerte trekonstruksjoner har i ettertid blitt reparert for gjenbruk.

Tunge tre konstruksjoner har blitt anerkjent for å ha veldig god brannmotstand. Det er flere godt dokumenterte eksempler på dette. Flere brannutsatte trekonstruksjoner har i ettertid blitt reparert for gjenbruk.

Når store tre konstruksjoner er eksponert av en kraftig brann, vil overflaten til treet antenne og brenne raskt. Det forbrente treet danner et kullag som isolerer det massive treet under. Den initiale forbrenningshastigheten reduseres til en mer stabil hastighet, som vedvarer gjennom hele brannekspneringen.

Forkullingshastigheten vil igjen øke hvis restverrsnittet blir veldig lite. Kullaget skrumper og gjør det tynnere enn det originale treet, dette fører til sprekker i kullaget som gir en passasje for de brennbare gassene til overflaten<sup>[10]</sup>.

Vanligvis brenner ikke kullaget, forklaringen ligger i at det ikke er tilstrekkelig oksygen i flammene ved overflaten av kullaget, slik at en oksidasjon av kullet kan inntreffe. Når treet under kullaget er oppvarmet til over 100°C, vil fuktigheten i treet fordampe. Noe av fuktigheten beveger seg ut til den brennende flaten, mens noe beveger seg og inn i treet. Dette resulterer i en økning av fuktinnholdet til det oppvarmede treet, noen få centimeter under kull fronten<sup>[11]</sup>.



## 5.2 Beregningsmetoder

Denne seksjonen omhandler tre beregnings metoder:

- Effektivt tverrsnitt metode, lastbærende kapasitet som er beregnet for det effektive tverrsnittet, forutsetter at styrke og stivhets egenskaper ikke blir påvirket av brannen. Isteden benyttes en økt forkullingsdybde.
- Redusert styrke og stivhets metode, lastbærende kapasitet som er beregnet for resttverrsnittet, tar hensyn til reduksjonen av styrke og stivhets egenskaper.
- Generell metode, tar hensyn til temperatur tilstanden og fuktinnholdet i et hvilket som helst punkt i resttverrsnittet. Samt forholdet mellom styrke og stivhets egenskaper til materialet på den ene siden, temperatur og fuktinnhold på den andre.

*Note: Tabulerte data for design løsninger er ikke inkludert, det er forventet at slik design hjelp vil finnes i håndbøker etc.*

## 5.3 Spesielle regler:

Sammentrykning, normalt (loddrett ned mot) på fibre kan ses bort fra. Skjærkraft kan og ses bort fra i massive tverrsnitt. For laftede bjelker burde det verifiseres at resttverrsnittet i nærheten av selve laftene er minst 60 % av det tverrsnittet som er påkrevd for normal dimensjonert temperatur.

### 5.3.1 Bjelker:

Der hvor stag/avstiving svikter under den relevante brann eksponeringen burde side-knekk/forvridding antas på samme måte som elementer uten stag/avstiving.

### 5.3.2 Søyler:

Hvor stag/avstiving svikter under den relevante brann eksponeringen, burde knekk/forvridding antas på samme måte som elementer uten stag/avstiving.

Ved å forutsette mer fordelaktige grense, sammenliknet med normal dimensjonert temperatur på en søyle i et brann rom, som er en del av en sammenhengende søyle i en ikke svaiende ramme. Den kan antas å være fullstendig innspendt/ubevegelig i endene, hvis brannmotstanden i det avstengte rommet ikke er mindre enn brannmotstanden til søylen, se figur 4.2

### 5.3.3 Mekanisk sammensatte komponenter:

For mekaniske sammensatte komponenter, kan glide modi forventes å være lik normal dimensjonerende temperatur situasjonen.. For designen til mekaniske fester, se 4.5. Mekaniske fester trenger bare å oppfylle kriteriene gitt i 4.5.2 (2) – (4).

### 5.3.4 Stag:

Der hvor sammenpressede eller bøyde konstruksjoner er dimensjonert, og hvor en har tatt hensyn til effekten av stag. Burde det verifiseres at stagene ikke feiler under den forventede brann eksponerings tiden. Stagene kan forventes å holde hvis rest tverrsnitts arealet er 60 % av det arealet som er påkrevd ved normal dimensjonerende temperatur. Som et alternativ burde antas at det finnes forskjellige strukturelle modeller i normaltemperatur og under brann forhold.

### 5.3.5 Gulv og vegger:

For skillende konstruksjoner skal en ta hensyn til at det ved en tid er brann eksponering på en side. For ikke skillende konstruksjoner må en ta hensyn til brann eksponering på begge sider. For vegger og gulv bestående av massive tre ramme, dekket med panel, Figur 4.3, er bruks reglene gitt i Annex C (normative)

### 5.3.6 Sammenføyninger/skjøter:

Denne seksjonen relateres til sammenføyninger/skjøter mellom elementer under standard brann eksponering, som er gjort med trenagle type festere (dekket i 6.3, 6.5, 6.7 og 6.8 i ENV 1995-1-1) For mer detaljerte regler se Annex B (normative). Reglene gjelder kun for sammenføyninger/skjøter som er under side- last, som er utført slik at kreftene transporteres symmetrisk (se figur 6.2.1 g-k i ENV 1995-1-1)

## 5.4 Effektivt tverrsnitts areal metode:

Et effektivt tverrsnitt burde beregnes ved å redusere det initiale tverrsnittet med den effektive forkullingsdybden (se Figur 4.1)

Design styrken og modulene av elastisitet til det effektive tverrsnittet burde hentes fra Ligningene (2.1) til (2.3) med en  $k_{mod,fi} = 1,0$

## 5.5 Redusert styrke og stivhet metode:

Lastbærende kapasitet i bøyning, sammentrykning og strekk kan kalkuleres ved bruk av rest tverrsnittet og en reduksjon av styrke og stivhets parametrene.

Resttverrsnittet, Figur 4.1, til konstruksjoner burde enten bestemmes ved forkullingsdybde, uten å ta hensyn til hjørne radiusen, ligning A.1, eller ved å redusere det initiale tverrsnittet, med hensyn på hjørne radiusen gitt i ligning A.2

Formen til kull-linjen ved kanten burde anses som sirkulær med en tidsavhengig radius ifølge Figur A.1. Denne figuren gjelder for radier ikke større enn den av disse to som er minst:  $b_r/2$  eller  $h_r/2$ ,  $b_r$  og  $h_r$  er bredden og dybden til rest tverrsnittet.

For mykt tre er design styrken  $f_{d,fi}$  og moduler av elastisitet  $E_{d,fi}$  til rest tverrsnittet burde hentes fra Ligning 2.1 til 2.3, hvor  $k_{mod,fi}$  burde hentes fra ligning A.3 for bøyne styrke, A.4 for trykk styrke, A.5 for strekkstyrke og moduler av elastisitet.

### 5.5.1 Begrensninger:

Bare for standard brann eksponering

## 5.6 Generell metode:

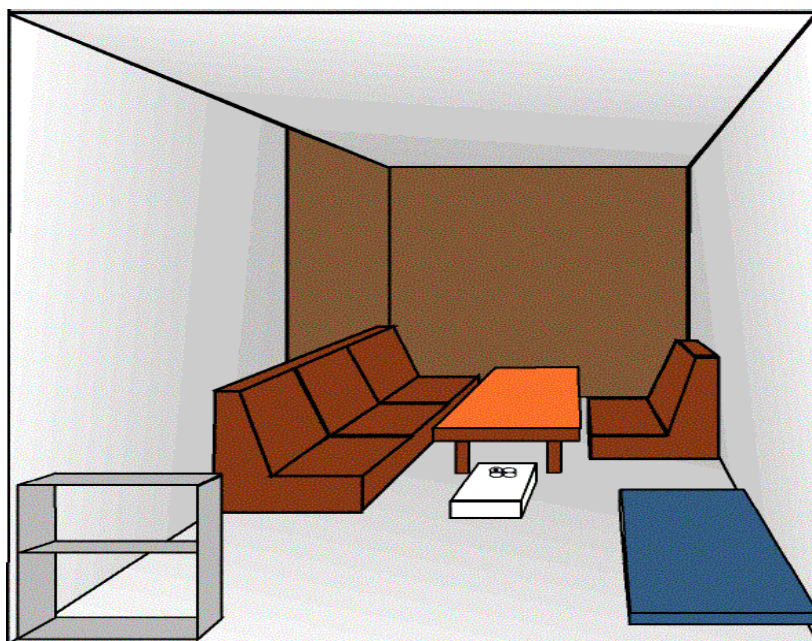
I denne metoden beregnes tverrsnittets lastbærende kapasitet og stivhet ved å bruke:

- forkullingsdybder i følge Annex A eller generelle forkullingsmodeller.
- temperatur profiler i rest tverrsnittet.
- fuktinnhold profiler i rest tverrsnittet.
- styrke og stivhets egenskaper avhengig av temperatur og fukt innhold.

## Vedlegg 6    Beregningseksempel

Du jobber som branningeniører i et rådgivende ingeniørfirma med godkjenning i høyeste tiltaksklasse innen brannteknisk prosjektering. En dag kommer et byggfirma som ber om hjelp til branntekniske beregninger. Problemstillingen gjelder beregninger av laster på konstruksjoner.

Byggfirmaet har ett prosjekt gående, hvor de holder på å prosjektere ett hybelkompleks, som skal bestå av 80 hybler fordelt på to etasjer. Hyblene er like og skal være enkelt innredet.



Hyblenes dimensjoner er;  
høyde: 2,4 m,  
bredde: 2,4 m,  
lengde 3,6 m.

Åpningene på hyblene er  
2,0 m x 0,8 m.

Kledning på veggene som  
dekker 10,1 m<sup>2</sup>

Spesifikk brannbelastning  
på 73,6 MJ/m<sup>2</sup>.

### Beskrivelse av regnearket:

Regneverktøyene er lagt på en egen CD-ROM.  
CD-ROMen inneholder to mapper. Den ene mappen heter: ”Regneverktøy”, den andre heter ”Beregningseksempel”

I mappen Regneverktøy er det fire ”bøker”, en bok for hvert sett med regneverktøy.

I mappen Beregningseksempel er det en ”bok”. Denne boken inneholder det som er benyttet for å beregne svarene til beregningseksemplene.

## 6.A Beregning av parametrisk tid-temperaturkurve.

### Beregning:

- 1) Beregn omhyllingsarealet  $A_t$ , areal for åpninger. Beregn veid høyde for åpningene  $h$ , samt arealet av vertikale åpninger  $A_v$ .

$$A_v = A_1 = 2,0 \cdot 0,8 = \underline{1,6 \text{ m}^2}$$

$$h = \frac{A_1 h_1}{A} = \frac{2,0 \cdot 0,8 \cdot 2,0}{1,6} = \underline{2,0 \text{ m}}$$

$$A_t = (L1 \cdot L2)2 + (L2 \cdot L3) + (L1 \cdot L3) = (2,4 \cdot 3,6)2 + (3,6 \cdot 2,4) + (2,4 \cdot 2,4) = \underline{46,1 \text{ m}^2}$$

- 2) Beregn åpningsfaktoren  $O$ :

$$O = \frac{A_v \cdot \sqrt{h}}{A_t} = \frac{1,6 \cdot \sqrt{2,0}}{46,1} = \underline{0,05} \quad [-]$$

Åpningsfaktoren,  $O$ , bør ligge i intervallet  $0,02 - 0,20 \text{ m}^{1/2}$

- 3) Må nå finne  $b$ , dette rommet består av ulike materialer i vegger, tak og gulv. Vi finner fra tabell følgende data:

Betong:

$$\begin{aligned} \rho &= 600 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ c &= 880 \text{ [J/kg K]} \\ \lambda &= 1,1 \text{ [W/m K]} \end{aligned}$$

Tre:

$$\begin{aligned} \rho &= 1440 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ c &= 840 \text{ [J/kg K]} \\ \lambda &= 0,48 \text{ [W/m K]} \end{aligned}$$

Altså:

$$b = \frac{\sum b_j A_{ij}}{\sum A_{ij}}, \text{ må her ta for oss hver enkelt overflate og finne den termiske tregheten, i}$$

dette rommet har tre av veggene det samme materialet og lik areal, mens vegg 4 har en halv vegg med sponplater og en halv vegg med betong.

$$b = \frac{(\sqrt{\lambda \rho c} \cdot A) \cdot 3 + (\sqrt{\lambda \rho c} \cdot A_{\text{vegg 1}}) + \left( \frac{\sqrt{\sum s_i c_i \lambda_i}}{\sqrt{\sum \frac{s_i c_i \lambda_i}{b_i^2}}} \cdot A_{\text{vegg 3}} \right) + \left( \frac{\sqrt{\sum s_i c_i \lambda_i}}{\sqrt{\sum \frac{s_i c_i \lambda_i}{b_i^2}}} \cdot A_{1/2 \text{ vegg 4}} \right) + (\sqrt{\lambda \rho c} \cdot A_{1/2 \text{ vegg 4}})}{A_t}$$

$$b = \frac{(762,1 \cdot 8,64 \cdot 3) + (762,1 \cdot 5,76) + (1524 \cdot 5,76) + (1524 \cdot 4,32) + (762,1 \cdot 4,32)}{46,1} = \underline{928}$$

Merk! Denne verdien ligger under intervallet som  $b$  bør være innenfor, dette kan være pga at betongen, som ble brukt under brannforsøket, har en lav tetthet.

4) **Beregn  $\Gamma$  (omikron), fra følgende formel:**

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{O}{b}\right)^2}{\left(\frac{0,04}{1160}\right)^2} = \frac{\left(\frac{0,05}{928}\right)^2}{\left(\frac{0,04}{1160}\right)^2} = \underline{2,35} \quad [-]$$

Merk! I regneverktøyet blir alle desimaler tatt med, derfor blir omikron 2.35. Regner enn ut dette som står i eksemplet over, blir det ett høyere svar.

5) **Finne maks temperatur i branncellen for tiden  $t^* = t_d^*$**

$$t_d^* = \frac{0,13 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} \cdot \Gamma}{O} = \frac{0,13 \cdot 10^{-3} \cdot 73,6 \cdot 2,35}{0,05} = \underline{0,46}$$

hvor

$q_{t,d}$  - brannbelastningen i rommet, bør ligge mellom 50 og 1000 MJ/m<sup>2</sup>

6) **Finne temperaturer i branncellen ved hjelp av følgende formel:**

$$\theta_g = 1325(1 - 0,324e^{-0,2 t^*} - 0,204e^{-1,7 t^*} - 0,472e^{-19 t^*}) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\theta_g = 1325(1 - 0,324e^{-0,2 \cdot 0,46} - 0,204e^{-1,7 \cdot 0,46} - 0,472e^{-19 \cdot 0,46})$$

$$\theta_g = \underline{808 \text{ } ^{\circ}\text{C}}$$

7) **Beregne avkjølingen i branncellen.**

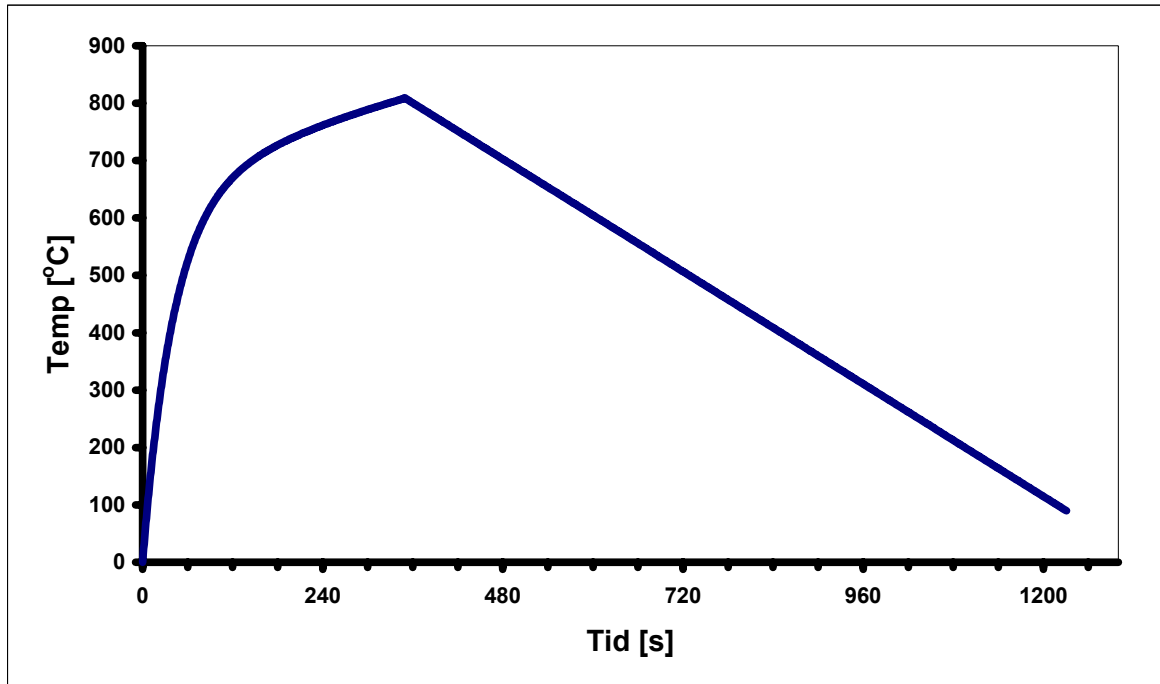
denne utregninger har tre uttrykk som kan brukes, men dette avhenger av verdien til  $t_d^*$ .

Ved å regne ut avkjølingen i rommet bruker vi denne formelen:

$$\theta_g = \theta_{\text{maks}} - 625 (t^* - t_d^*) \quad t_d^* \leq 0,5$$

Men dette gjøres i et excelark.

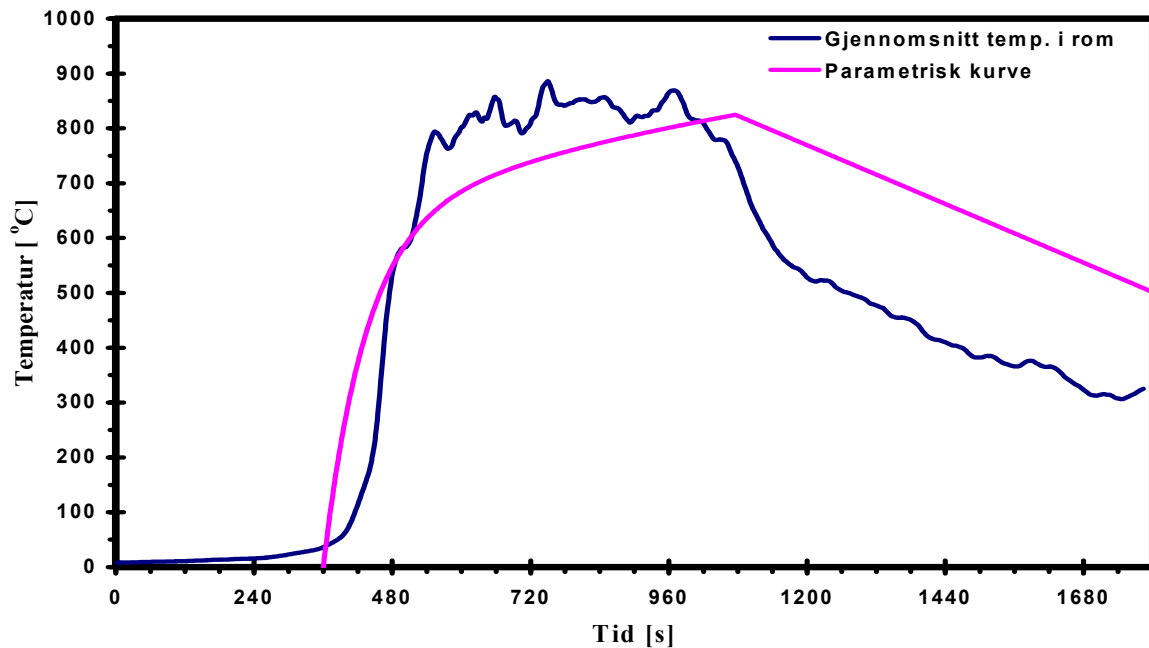
Svar:



## 6.B Diskusjon om sammenlignen av virkelig brannforløp med beregnet parametriske tid-temperaturkurve.

Her er det interessant å sammenligne den parametriske tid-temperaturkurven som kom fram i oppgave 6A og en virkelig brannforløp som ble utført i et ISO rom.

### Sammenligning:



### Diskusjon:

Ved sammenligning av disse to grafene, ser en at den parametriske måtte flyttes mot høyre, slik at den starter når den "virkelige" brannen kom over i overtenningsfasen. Dette fordi en brann vil aldri gå rett fra tennfasen og over til overtenningsfasen. Alle branner har en utviklingsfase, hvor den er avhengig av at det er tilstrekkelig med oksygen og brensel. Den parametriske tar altså ikke hensyn til utviklingsfasen til brann.

Ved videre sammenligning, ligger maks temperatur for den parametriske lavere enn den "virkelige", samt at gjennomsnitt temperaturen er høyere enn den parametriske. Noen av grunnene til at den "virkelige" har høyere maks temperatur, kan være at under brannforløpet fikk brann rikelig med oksygen ved hjelp av at det var litt trekk under forsøket, noe som den parametriske ikke tar hensyn til. Begge grafene har en kraftig temperaturøkning fra ca 360-420 sekunder og opp til 480 sekunder. Denne fasen kalles overtenningsfasen.



Etter overtenningsfasen går begge grafene over i fullt utviklet brann fase.

I denne fasen går den virkelige rett opp til maks temperatur, og holder sin temperatur fram til all material er utbrent, ut ifra grafen er denne fasen litt ujevn, dette kan være pga at brannen ble påvirket av vind/trekk og det ble utført avkjøling med hjelp av vann, dette for å unngå ødeleggelse av eksterne søyler og bjelker.

Den parametriske stiger raskt i løpet av 60 – 90 sekunder, hvor den da jevner seg ut og stiger jevnt opp mot maks temperatur.

Etter fullt utviklet brann kommer avkjølingsfasen. I denne fasen har den ”virkelige” en raskere reduksjon en den parametriske.

### **Ekstra informasjon for å løse neste oppgave:**

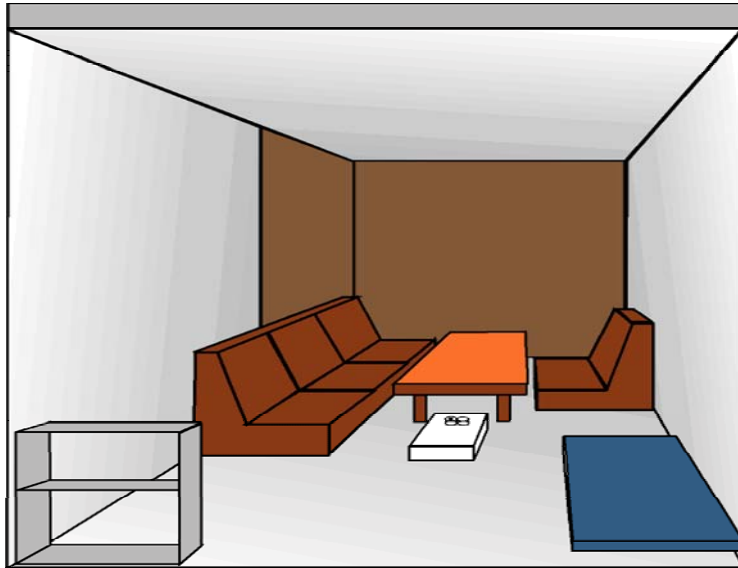
Konstruktøren er interessert i å finne ut hvilket materiale han kan benytte i den bærende konstruksjonen, for at disse skal tåle 30 minutters branneksporing. Den bærende konstruksjonen blir under brann belastet med en last,  $E_d$ ,  $f_i$ , 9,0 kNm

Prosjektøren oppgir i tillegg at tilført moment ved kald design,  $M_{Sd}$ , er 9,0 kNm

Av konstruktøren er verdien til  $\mu_o$  lik 0.40

## 6.C Beregning: Holder betongdekket i en brannsituasjon?

Prosjektøren ønsker å benytte en 200 mm tykt betong dekke, Det blir foreslått en armeringsdybde,  $a$ , på 20 mm.  $F_{d,fi} = E_{d,fi}$ . Den effektive lengde,  $l_{eff}$ , til dekke er 3,6 m. Pattrial material faktor til armeringsstål under normaltillstand,  $\gamma_s$ , er 1,15. Pattrial faktoren til armeringsstål i branntilstand  $\gamma_{s,fi}$  er 1,0. Forholdet mellom arealet til armeringsstålet som er benyttet og arealet armeringsstål som er påkrevd,  $A_{s,prov} / A_{s,req}$ , er lik 1.



### Beregning:

- 1) Beregner maksimalt moment for brannsituasjon,  $M_{Sd,fi}$ .

$$M_{Sd,fi} = (F_{d,fi} \cdot l_{eff}) / 8$$

Hvor:

$F_{d,fi}$  er last under branntilstand. I dette tilfellet lik 9,0 kNm.

$l_{eff}$  er lengden på dekket. I dette tilfellet lik 3,6 meter.

→  $M_{Sd,fi} = (9 \text{ kNm} \cdot 3,6 \text{ m}) / 8 = \underline{4,05 \text{ kN}}$

- 2) Må beregne Styrke reduksjons faktoren til stål, ved  $\Theta = 300^\circ\text{C}$  (hentet fra figur B2, med  $a = 20\text{mm}$ , 30min brann, og dekke tykkelse på 200mm.

→  $k_s(\Theta) = 1$ , i dette tilfellet

3) **Beregner så moment kapasitet for brannsituasjon,  $M_{Rd,fi}$**

$$M_{Rd,fi} = (Y_s / Y_{s,fi}) \times k_s(\Theta) \times M_{Sd} (A_{s,prov} / A_{s,req})$$

Hvor:

$Y_s$  Pattrial material faktor for stål, under normal situasjon, normalt lik 1,15.

$Y_{s,fi}$  Pattrial material faktor for stål, under brann situasjon, normalt lik 1,0.

$k_s(\Theta)$  Styrkereduksjonsfaktor, beregnet til 1.

$M_{Sd}$  Tilført moment (kraft) ved kald design, her lik 9kNm.

$(A_{s,prov} / A_{s,req})$  Forholdet mellom arealet til benyttet armeringsstål og påkrevd for normal last, her lik 1.

→  $M_{Rd,fi} = (1,15/1,0) * 1 * 9 \text{ kNm} * (1) = \underline{10,35 \text{ kN}}$

4) **Verifisere**

$$M_{Sd,fi} \leq M_{Rd,fi}$$

→  $4,05 \text{ kN} \leq 10,35 \text{ kN} \Rightarrow \underline{\text{OK}}$

**Svar:**

Det maksimale brann design moment,  $M_{Sd,fi}$ , blir 4,05 kNm

Motstands momentet for design i brann situasjon,  $M_{Rd,fi}$ , blir 10,35 kNm

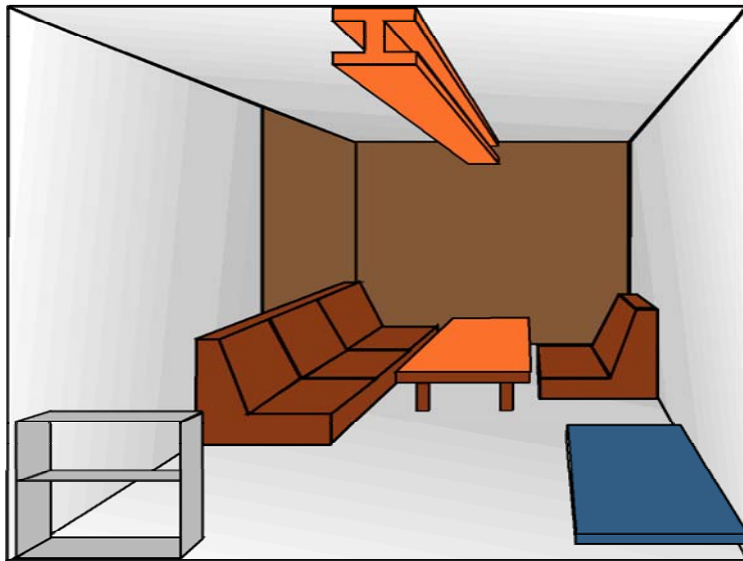
Verifiserer at  $M_{Sd,fi} \leq M_{Rd,fi} \Rightarrow E_{fi,d} \leq R_{fi,d} \Rightarrow \underline{\text{OK}}$

## 6.D Beregning: Holder stålbejlen i en brannsituasjon?

Prosjektøren ønsker nå å se på et alternativ hvor han ønsker å benytte en ubeskyttet stålbejle. Stålbejlen har en HE 100B profil. Utnyttelses faktoren,  $\mu_0$ , er gitt som 0,4.

Videre trengs de et verdi på utnyttelse faktoren.  $\mu_0$  er en verdi som uttryker forholdet mellom  $R_{fi,d}$  og  $E_{fi,d}$ .

Av konstruktøren er verdien satt til 0.40. Konstruktøren er interessert av å se nærmere på en isolert og uisolert stålprofil.



### Beregning:

- 1) Beregner kritisk temperatur,  $\theta_{a,cr}$ , til stål profilen:

$$\theta_{a,cr} = 39,19LN\left(\frac{1}{(0,967 \cdot \mu_0^{3,833})} - 1\right) + 482$$

Hvor:

$\mu_0$  er utnyttelses faktor, her lik 0,4

$$\rightarrow \theta_{a,cr} = 39,19LN\left(\frac{1}{(0,967 \cdot 0,4^{3,833})} - 1\right) + 482 = 620 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2) Beregner temperaturen i stålprofilen,  $\theta_{a,t}$  etter 30 min tresidig branneksponeering

$$\Delta\theta_{a,t} = \left( \frac{\frac{A_m}{V}}{C_a \cdot \rho_a} \right) \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t$$

Hvor:

$\frac{A_m}{V}$  er profilfaktoren, her lik  $180 \text{ m}^{-1}$

$c_a$  er spesifikk varme kapasitet til stål, her lik  $600 \text{ J/kgK}$

$\rho_a$  er tettheten til stål, konstant for beregninger i ENV 7850  $\text{kg/m}^3$

$\dot{h}_{net,d}$  er dimensjonerende netto varmestrøm verdi per areal enhet, endres ved tid.

$\Delta t$  er tidsintervall, her lik 1 sek

- ➔ Temperatur økningen i stålprofilen kan ses som en akkumulering av det siste målte verdien subtrahert med temperatur økningen under den siste tidsintervallet. For å finne temperaturen i stålet etter 30 min, må det utføres beregninger i regneark, hvor temperaturen øker som funksjon av tiden og varmestrømmen. Etter beregning i regneark blir temperaturen, etter 30 min, i stålprofilen beregnet til 739 °C

**Svar:**

Den kritiske temperaturen,  $\theta_{a,cr}$ , for stål profilen er  $620 \text{ °C}$ .

Temperaturen i stålprofilen,  $\theta_{a,30}$ , etter 30 min er  $739 \text{ °C}$

$\theta_{a,cr} < \theta_{a,30} \Rightarrow$  Svikt, stålprofilen beholder ikke sin bæreevne etter 30 min. branneksponeering

## Nye forutsetninger:

Tverrsnitts temperaturen er før høy etter 30 min.

Konstruktøren ønsker derfor å prøve om en stålprofil beskyttet med 1 lag gips.

Bruker samme stålprofil. den skal isoleres med 13 mm tykke gipsplater. Isolasjonen bygges som en kasse rundt stålprofilen.

HE 100B bjelken er brann eksponert på tre sider.

Bruker profilmotstanden  $A_m/V = 115 \text{ m}^{-1}$

## Beregning:

### 1) Finne faktoren, $\phi$ , mellom det isolerende materiale og stålprofilen

$$\phi = \frac{c_p \cdot \rho_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot d_p \cdot \frac{A_p}{V}$$

Hvor:

$c_p$  er spesifikk varmekapasitet til beskyttende materiale, her lik 1700 J/kgK

$c_a$  er spesifikk varmekapasitet til stålprofilen, her lik 600 J/kgK

$\rho_p$  er tettheten til isolasjonsmaterialet, her lik 800 kg/m<sup>3</sup>

$\rho_a$  er tettheten til stål, gitt i ENV som 7850 kg/m<sup>3</sup>

$d_p$  er tykkelsen til isolasjonsmaterialet, her lik 0,013 m

$$\rightarrow \phi = \frac{1700 \cdot 800}{600 \cdot 7850} \cdot 0,013 \cdot 115 = \underline{0,43}$$

### 2) Beregner temperaturen, $\theta_{a,t}$ , i den beskyttede stål profilen, etter 30 min.

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p}{d_p \cdot C_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{\left(1 + \frac{\phi}{3}\right)} \cdot \Delta t - \left(e^{\frac{\phi}{10}} - 1\right) \cdot \Delta\theta_{g,t}, \text{ Her gjelder } \Delta\theta_{a,t} \geq 0$$

Hvor:

$\lambda_p$  er den termiske konduktiviteten til isolasjonsmaterialet, her lik 0.22 W/mK

$\theta_{g,t}$  er gasstemperaturen ved tiden t.

$\theta_{a,t}$  er stål temperaturen ved tiden t.

$\Delta t$  er tidsintervaller, her lik 1 sek.

$\Delta\theta_{g,t}$  er branngassens temperaturøkning i tidsintervallet  $\Delta t$

$$\rightarrow \Delta\theta_{a,t} = \frac{0,22 \cdot 115}{0,013 \cdot 600 \cdot 7850} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{\left(1 + \frac{0,43}{3}\right)} \cdot \Delta t - \left(e^{\frac{0,43}{10}} - 1\right) \cdot \Delta\theta_{g,t} \Rightarrow \Delta\theta_{a,30} = 277 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Temperatur økningen i den beskyttede stålprofilen kan ses som en akkumulering av det siste målte verdien subtrahert med temperatur økningen under den siste tidsintervallet.

For å finne temperaturen i det beskyttede stålet etter 30 min, må det utføres beregninger i regneark, hvor ståltemperaturen øker med tiden og gasstemperaturen. Etter beregning i regneark blir temperaturen, etter 30 min, i den beskyttede stålprofilen beregnet til 277 °C

**Svar:**

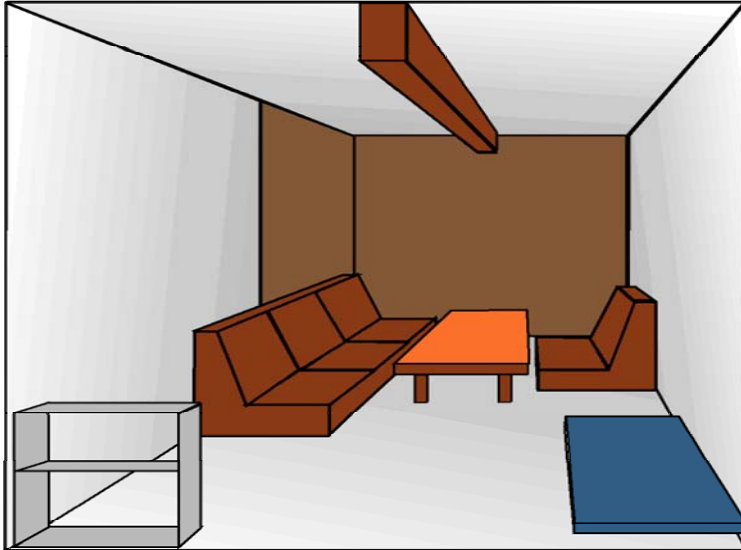
Den kritiske temperaturen,  $\theta_{a,cr}$ , for den beskyttede stålprofilen er 620 °C.

Temperaturen i den beskyttede stålprofilen,  $\theta_{a,30}$ , etter 30 min er 277 °C

$\theta_{a,cr} \geq \theta_{a,30} \Rightarrow$  OK, den beskyttede stålprofilen beholder bæreevnen i 30 min.

## 6.E Beregning: Holder trebjelken i en brannsituasjon?

Limtre bjelke, med en karakteristisk tetthet større enn  $290 \text{ kg/m}^3$   
 Bjelken er ubeskyttet og er eksponert fra en standard brann på tre sider.  
 Dimensjonene er: 100 mm bred og 300 mm høy



### Beregning:

- 1) Starter med å beregne forkullingsdybde,  $d_{char}$ .

$$d_{char} = \beta_0 \cdot t$$

Hvor:

$\beta_0$  er forkullingsdybde, hentes fra tabell 3.1. I dette tilfellet lik 0,7 mm/min.

$t$  er tiden brannen varer. I dette tilfellet lik 30 min.

→  $d_{char} = 0,7 \text{ mm/min} \cdot 30 \text{ min} = \underline{21 \text{ mm}}$

- 2) Beregner så effektiv forkullingsdybde,  $d_{eff}$

$$d_{eff} = d_{char} + k_0 \cdot d_0$$

Hvor:

$d_{char}$  er forkullingsdybde, beregnes fra likning (3.1). I dette tilfellet lik 21mm

$k_0 \leq 1$  hentes fra tabell (4.1), I dette tilfellet lik 1,0

$d_0$  konstant lik 7 mm.

→  $d_{eff} = 21 \text{ mm} + 1,0 \cdot 7 \text{ mm} = \underline{28 \text{ mm}}$



### 3) Reduserer tverrsnittet

Effektiv bredde:

$$b_{eff} = b - (2 \cdot d_{eff})$$

Hvor:

$b$  er original bredde [mm]  
 $d_{eff}$  er effektiv forkulningsdybde [mm]

$$\rightarrow b_{eff} = 100 \text{ mm} - (2 \cdot 28 \text{ mm}) = \underline{44 \text{ mm}}$$

Effektiv høyde:

$$h_{eff} = h - d_{eff}$$

Hvor:

$h$  er original høyde [mm]  
 $d_{eff}$  er effektiv forkulningsdybde [mm]

$$\rightarrow h_{eff} = 300 \text{ mm} - 28 \text{ mm} = \underline{272 \text{ mm}}$$

Rest tverrsnittet blir da 44 X 272 mm

### 4) Beregne hva lastbærende kapasitet for denne bjelken utsatt for 30 min brannekspnering:

$$f_{fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

Hvor:

$k_{mod,fi}$  er modifikasjonsfaktor for ulykkestilfellet brann. I dette tilfellet lik 1,0.

$k_{fi}$  er en sikkerhetsfaktor som tar høyde for hvordan konstruksjoner er sammensatt. Antas normalt lik 1,15.

$f_k$  er karakteristisk fasthet. I dette tilfellet lik 30,0 N/mm<sup>2</sup>.

$\gamma_{M,fi}$  er en faktor for å vise at det ikke er tillatt med noen reduksjon av karakteristisk fasthet. Antas normalt lik 1,0.

$$\rightarrow f_{fi,d} = 1,0 \cdot 1,15 \cdot ((30,0 \text{ N/mm}^2) / (1,0)) = \underline{34,5 \text{ N/mm}^2}$$

- 5) Beregne den maksimale moment kapasiteten,  $M$ , for det denne bjelken med det beregnede effektive tverrsnittet:

$$M = f_{f_i,d} \cdot \left( \frac{b_{eff} \cdot h_{eff}^2}{6} \right)$$

Hvor:

$f_{f_i,d}$  er lastbærende kapasitet til bjelke utsatt for brann, i dette tilfellet lik 34,5 N/mm<sup>2</sup>.

$b_{eff}$  er gjenværende bredde, i dette tilfellet lik 44 mm

$h_{eff}$  er gjenværende høyde, i dette tilfellet lik 272 mm

→  $M = 34,5 \text{ N/mm}^2 * ((44 \text{ mm} * 272 \text{ mm}^2)/6) = 18717952 \text{ Nmm} = \underline{18,72 \text{ kNm}}$

Hvis den oppgitte lasten ved branntilstand er mindre enn den maksimale lasten denne kan bære vil bjelken holde et standard brannforløp på 30 min.

### Svar:

For dette tilfellet ser vi at bjelken vil holde så lenge den belastningen på bjelken ikke overskrider den maksimale moment kapasiteten,  $M$ .

$$E_{f_i,d} \leq M$$

Hvor:

$E_{f_i,d}$  er 9 kNm

$M$  er 18,72 kNm

$$E_{f_i,d} \leq M \Rightarrow 18,72 \text{ kNm} \geq 9 \text{ kNm}$$