

# Brannteknisk rapport for selvbærende stålplatetak

2. utgave 2022



**INDUSTRIGRUPPEN  
STÅL & FASADE**

 **Norsk Stålforbund**  
Norwegian Steel Association

## Brannteknisk rapport for selvbærende stålplatetak

2. utgave 2022

Utgitt av

Norsk Stålforbund  
www.stalforbund.no

Denne rapporten er utarbeidet av Dr. Technologie Jörgen Thor ved Brandskyddslaget på oppdrag fra IGS sine medlemmer som produserer og leverer selvbærende takplater av stål. ArcelorMittal Construction Norge, Areco Profiles, Lindab, Ruukki Construction og Tata Steel Norway Byggsystemer.

Rapport navn: Mot brand oskyddad TRP plåt i brandteknisk klass R 15  
Rapport dato: 28.10.2019

IGS ble stiftet i 1978 med hovedmål å fremme faglig utvikling, kunnskap og anvendelse av tynn-plater i byggebransjen. IGS er et av Norsk Stålforbunds basismedlemmer.

Utgiver påtar seg ikke noe ansvar for bruken av material og informasjon i denne publikasjonen.

ISBN: 978-82-91466-26-2

Copyright © 2019 Norsk Stålforbund

Layout: Christine Wigaard  
Trykk og innbinding: Wisa Grafisk as

## Innholdsfortegnelse

### 1 Bakgrunn

### 2 Tak av TRP plater og krav til brannmotstand

- 2.1 Brannteknisk inndeling av drift og bygninger etter TEK 17
- 2.2 Konstruksjoner uten spesifikke krav til brannmotstand
- 2.3 Konstruksjoner som kan utføres i brannmotstand R 15

### 3 Forutsetninger for å oppfylle brannmotstand R 15

- 3.1 Generelt
- 3.2 Temperaturer i TRP plate ved brann
- 3.3 Beregning av bæreevne

### 4 Sammendrag av resultatene

### 5 Referanser

## 1 Bakgrunn

Et tak av korrugerte stålplater vil raskt oppvarmes ved brann nedenfra. Når temperaturen i platen stiger, minsker materialets styrke. Når styrken reduseres så mye at flytespenningen oppnås over platetverrsnittet for den last som belaster platene i branntilfellet, opphører platenes evne til å bære lasten i form av bjelkeberegning. Imidlertid kan lasten under visse forhold fremdeles bæres av platene. Platene kan fungere gjennom membranvirkning som en «hengekøye» med store deformasjoner mellom platenes opplegg.

Dette betyr at platene bærer lasten gjennom strekkspenninger i stedet for gjennom bjelkeberegning. Dette forutsetter at platene har tilstrekkelig deformasjonskapasitet slik at en tilstrekkelig stor nedbøyning innen brudd kan oppstå. Horisontale taukrefter oppstår også som stiller krav til innfestingen av platene til opplegg. I innerfelt kan disse horisontale taukreftene oppheve hverandre, men i bygnings ender må disse horisontale kreftene tas hånd om og føres ned til fundamentet. En måte å gjøre dette på kan være at platene i ytterfeltene beskyttes nedenfra mot brann, for eksempel med steinullsplater med høy densitet. Ytterfeltene kan da fungere som stive horisontale skiver og de oppstående taukreftene, som følge av membranvirkning, kan derfra føres ned til fundamentet via diagonaler eller kryss i veggene.

Et annet aspekt å tenke på, ved lastoptak gjennom membranvirkning ved brannlasttilfellet, er når platene utnyttes for skivevirkning for å stabilisere bygningen mot horisontale krefter ved bruddlastdimensjonering. Man kan da ikke uten videre anta at skivevirkning fortsatt fungerer ved lasttilfellet brann ettersom platene henger kraftig ned mellom oppleggene. En vurdering og/eller ekstra tiltak for å håndtere dette vil da være nødvendig.

At lastoptak ved brann gjennom membranvirkningen hos TRP-plater kan fungere er vist bl.a. i forbindelse med brannprøver på 1980-tallet ved SP i Borås med belastet platetak. Undertegnede var ansvarlig for disse forsøkene på vegne av Stålkonstruksjonsinstituttet. Testen varte i 60 minutter uten at platene kollapset. SINTEF i Norge har med henvisning til bl.a. disse testene ved ulike beregninger funnet et underlag for hvordan platen kan dimensjoneres for denne typen membraneffekt ved brann [1], [2].

Avhengig av gjeldende belastninger på platene ved brann og platetykkelse etc. kan brannmotstandstider på 60 minutter oppnås (R 60) uten at platen må brannbeskyttes nedenfra. Det stilles imidlertid krav til innfestingene iht. ovenstående og at de horisontale kreftene som genereres av membranvirkningen kan ivaretas og føres videre ned til fundamentet. Ekstra tiltak kan også være nødvendig når platen er dimensjonert for skivevirkning.

I mange tilfeller vil det være en klar fordel at kun en begrenset brannmotstand, f.eks. R 15, kan oppnås med ubeskyttet metallplate uten behov for å aktivere membranvirkningen, men at platen fungerer som opprinnelig gjennom bjelkeberegning. Noen horisontale taukrefter som må ivaretas oppstår da aldri.

**En slik løsning vil videre medføre at det ikke stilles spesielle krav til festene utover de som gjelder vanlig dimensjonering. Ytterfelt trenger heller ikke å beskyttes nedenfra ved brann. Tak som er dimensjonert for skivevirkning kan også antas å fungere som skivevirkning selv i lasttilfellet brann. Løsningene blir dermed betydelig enklere enn løsninger hvor membranvirkningen utnyttes for å oppfylle en viss brannmotstand.**

I avsnitt 2 gis eksempler på når det ikke stilles krav til brannmotstand og når R 15 kan være aktuelt for platetak i Norge i henhold til Byggeteknisk forskrift (TEK 17).

I avsnitt 3 beskrives vilkårene som gjelder for at ubeskyttet takplate fra undersiden skal oppfylle brannvernklasse R 15.

I avsnitt 4 oppsummeres resultatene i form av en dimensjoneringstabell for praktisk dimensjonering.

## 2 Tak av TRP plater og krav til brannmotstand

### 2.1 Brannteknisk inndeling av drift og bygninger etter TEK 17

Kravene til en bærende konstruksjons brannmotstand iht. norske byggeforskrifter er nedfelt i Byggeteknisk forskrift (TEK 17). Det vanligste er at kravene oppfylles med preaksepterte løsninger i form av spesifiserte brannmotstandskrav R 15, R 30, R 60 etc. avhengig av type virksomhet og type bygning.

I TEK 17 er ulike virksomheter tilordnet ulike risikoklasser (1-6) avhengig av hvilken trussel en brann kan utgjøre for skade på liv og helse innenfor hver virksomhet. Noen eksempler på inndeling i risikoklasser er gitt nedenfor. En mer omfattende sammenstilling finner du i TEK 17.

**Risikoklasse 1:** Carport, flyhangar, fryselager, garasje på en etasje

**Risikoklasse 2:** Industri, kontor, lager, garasje på to eller flere etasjer

**Risikoklasse 3:** Skole, barnehage

**Risikoklasse 4:** Boliger, brannstasjon med overnatting, studentboliger

**Risikoklasse 5:** Samlingslokale, idrettshall, konferansesenter, trafikkterminal

**Risikoklasse 6:** Fengsel, hotell, sykehus

Risikoklassen sammen med bygningens antall etasjer i bygningen avgjør om konsekvensen av en brann kan ansees å være liten, middels eller stor og bestemmer bygningens såkalte brannklasse (BKL1-BKL3). Se utdrag fra TEK 17 som vist i figur 1.

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller fler
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

Figur 1

Uavhengig av risikoklasse er dermed alle en-etasjes bygninger tilordnet brannklasse BKL1, hvor kravene til brannmotstand generelt er lavest. Det samme gjelder to-etasjes bygninger tilhørende risikoklasse 1-4.

Bygningsklassen etter ovenstående bestemmer da kravet til brannmotstand (R 30 - R 120) for ulike bærende bygningsdeler. Se utdrag fra TEK 17 i henhold til figur 2.

Bygningsdel	Brannklasse		
	1	2	3
Bærende hovedsystem	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]
Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er en del av hovedbæresystem eller stabiliserende	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 60 A2-s1,d0 [A 60]
Trappeløp		R 30 [B 30]	R 30 A2-s1,d0 [A 30]
Bærende bygningsdeler under øverste kjeller	R 60 A2-s1,d0 [A 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]	R 120 A2-s1,d0 [A 120]
Utvendig trappeløp, beskyttet mot framme påvirkning og strålevarme		R 30 [B 30] eller A2-s1,d0 [ubrennbart]	A2-s1,d0 [ubrennbart]

Figur 2

Minimumskravet til brannmotstand angitt i tabellen er R 30. Dette kravet klarer vanligvis ikke ubeskyttet TRP plater, med mindre membranvirkningen benyttes.

På den annen side finnes det flere preaksepterte ytelser som avviker fra tabellen over med praktisk anvendelse på f.eks. tak av TRP plater. Disse ytelsene kan bety at det ikke stilles spesifiserte krav til TRP-takets brannmotstand. I andre tilfeller kan de preaksepterte ytelsene innebære at kravet reduseres fra R 30 til R 15. Det er mulig å oppfylle brannmotstand R 15 for tak av TRP plater uten å utnytte lastopp-tak gjennom membranvirkning og uten å beskytte metallplaten på undersiden. Se avsnitt 3.

### 2.2 Konstruksjoner uten spesifikke krav til brannmotstand

- 1) I bygninger på en etasje tilhørende risikoklasse 2 stilles det ingen spesifikke krav til brannmotstand forutsatt at **de bærende konstruksjonene er ubrennbare.**

**Eksempel på bruk: En-etasjes bygning, som kontor, lager, industri, garasje**

- 2) I bygg uten loft kan takkonstruksjon utføres uten spesifisert brannmotstand, forutsatt at dette ikke er avgjørende for byggets stabilitet i **evakueringsfasen** og forutsatt at bygget kan henføres til **brannklasse BKL1** (se tabell iht. figur 1). Videre skal **alle materialer i takkonstruksjonen, inkludert isolasjonen, være ubrennbare.**

Når det gjelder stabiliteten i evakueringsfasen kan følgende opplyses. Selv om TRP platene ved normal dimensjonering er rammestabiliserende gjennom skivevirkning, kan stabiliteten ved brann likevel normalt antas å være mest fullstendig under evakueringsfasen. Evakueringen skal være ferdig lenge før temperaturene generelt på taknivå begynner å bli kritiske for takets bæreevne. Når temperaturene på taknivå begynner å bli kritiske for bæreevnen, risikerer man at hele bygget blir overopphetet. Under evakueringsfasen kan det således antas at brannen må være lokalt begrenset. TRP platenes bæreevne kan da kun kompromitteres lokalt samtidig som den dimensjonerende vindlasten ved brann er svært begrenset. Dette betyr at det med rimelighet bør være mulig å hevde at stabiliteten til bygget i evakueringsfasen, pga. eventuelle lokalt ødelagte TRP plater, ikke utgjør et problem.

For å kunne påberope seg avviket fra tabellen etter figur 2 for TRP platene gjelder således at bygget kan henføres til brannklasse BKL1 etter figur 1 og at isolasjonen er ubrennbar.

**Eksempel på bruk: Alle bygg på én etasje uavhengig av risikoklasse som ovenfor (inkl. f.eks. møterom, idrettshaller, sykehus etc.) samt bygg på to etasjer dersom de tilhører risikoklasse 1– 4 (f.eks. skole, barnehjem, bolig, brannstasjon med overnatting).**

Merk at for ovennevnte bruk skal isolasjonen også være ubrennbar og at det etter ovenstående kan antas at den preaksepterte løsningen, uten spesifikt krav til brannmotstand, ikke er av avgjørende betydning for byggets stabilitet under evakueringsfasen.

### 2.3 Konstruksjoner som kan utføres i brannmotstand R 15

- 1) Et bygg på **én etasje** som tilhører risikoklasse 2 (f.eks. industri, lager, kontor, parkeringshus), risikoklasse 3 (f.eks. skole) og risikoklasse 5 (f.eks. møterom, idrettshall, kino, kirke) kan ha hoved- og sekundærstøttesystemer med brannmotstand R 15.
- 2) Bygninger i brannklasse BKL1 og risikoklasse 4 (f.eks. barnehjem, boliger, studentboliger) **på én og to etasjer** kan ha hoved- og sekundærstøttesystem i brannmotstand R 15.

Sammenlignet med unntaket 2) i pkt. 2.2 er det ingen krav om at isolasjonen skal være ubrennbar. Man kan i prinsippet betrakte helheten som at kravet til ikke-brennbar isolasjon kan byttes ut med et R 15 krav på platen.

## 3 Forutsetninger for å oppfylle brannmotstand R 15

### 3.1 Generelt

Generelt kan brannmotstanden til en brannavskillende eller en bærende konstruksjon bestemmes av:

- Prøving
- Beregning
- Kombinasjon av prøving og beregning

Eurokodene for henholdsvis betong-, stål-, samvirke- og trekonstruksjoner inneholder instruksjoner for beregning av brannmotstanden til ulike konstruksjoner. Vanligvis beregnes konstruksjonens temperatur ved et gitt krav til brannklasse, f.eks. EI 60 for en skillekonstruksjon eller R 60 for en bærende konstruksjon, når konstruksjonen er utsatt for en standard brannpåvirkning i henhold til ISO 834.

For skillekonstruksjoner skal temperaturøkningen på ikke-brannutsatt side ikke overstige 140 grader i gjennomsnitt etter f.eks. 60 minutter.

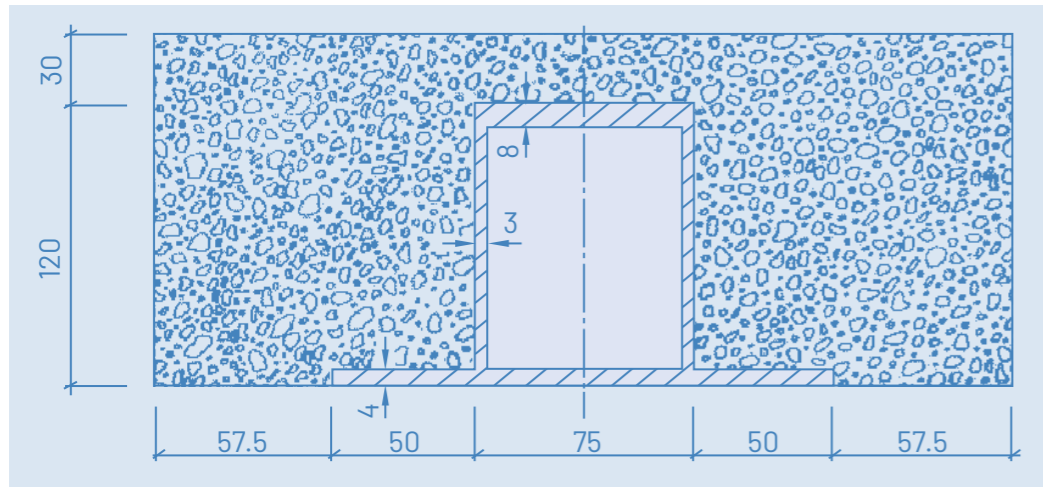
For bærende konstruksjoner – i det aktuelle tilfellet yttertak av TRP plater – skal platen ha en bæreevne større enn gjeldende belastning ved brannbelastning ved standard brannpåvirkning iht. ISO 834, f.eks. 15 minutter.

For å kunne foreta beregninger som ovenfor, må de termiske dataene til materialene som inngår i konstruksjonen, som varmeledningstall og spesifikk varmekapasitet og deres variasjon av temperatur, være kjent. Den termiske ledningsevnen øker med økende temperatur for de fleste materialer. F.eks. for produkter av steinull øker varmeledningsevnen mer for lette produkter sammenlignet med tyngre, selv om varmeledningsevnen er den samme ved romtemperatur.

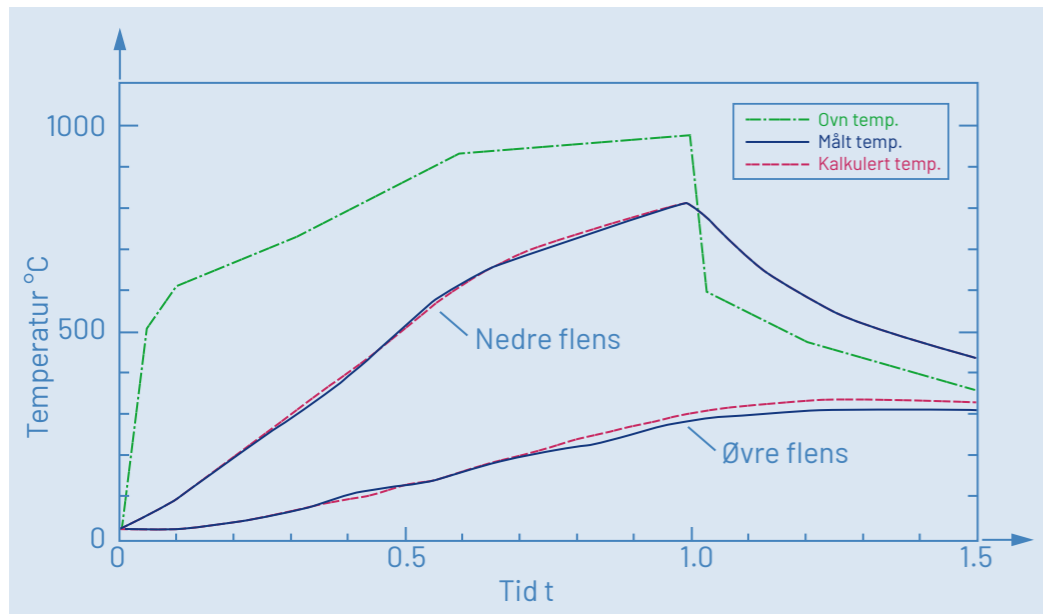
Varmeledningstall og spesifikk varmekapasitet som funksjon av temperatur er gitt i Eurokoden for betong, stål og tre og disse verdiene kan dermed brukes direkte som inngangsdata ved beregning av brannmotstand som ovenfor. For bl.a. mineralull, de tilsvarende dataene er rapportert i [3].

Temperaturen i en konstruksjon utsatt for brann kan f.eks. beregnes med det todimensjonale varmeledningsprogrammet TASEF (Temperature Analysis of Structures Exposed to Fire) som er utviklet av professor Ulf Wickström, Luleå tekniska universitet. Ulf Wickström var tidligere leder for SP brann-testlaboratoriet i Borås i mange år og TASEF-programmet er benyttet og verifisert mot et stort antall branntester.

Som eksempel fra manualen for TASEF viser figur 3 en hattebjelke i stål i et betonggulv og i figur 4 målte og TASEF-beregnete temperaturer i bjelkens symmetrilinje for nedre flens og øvre flens.



Figur 3

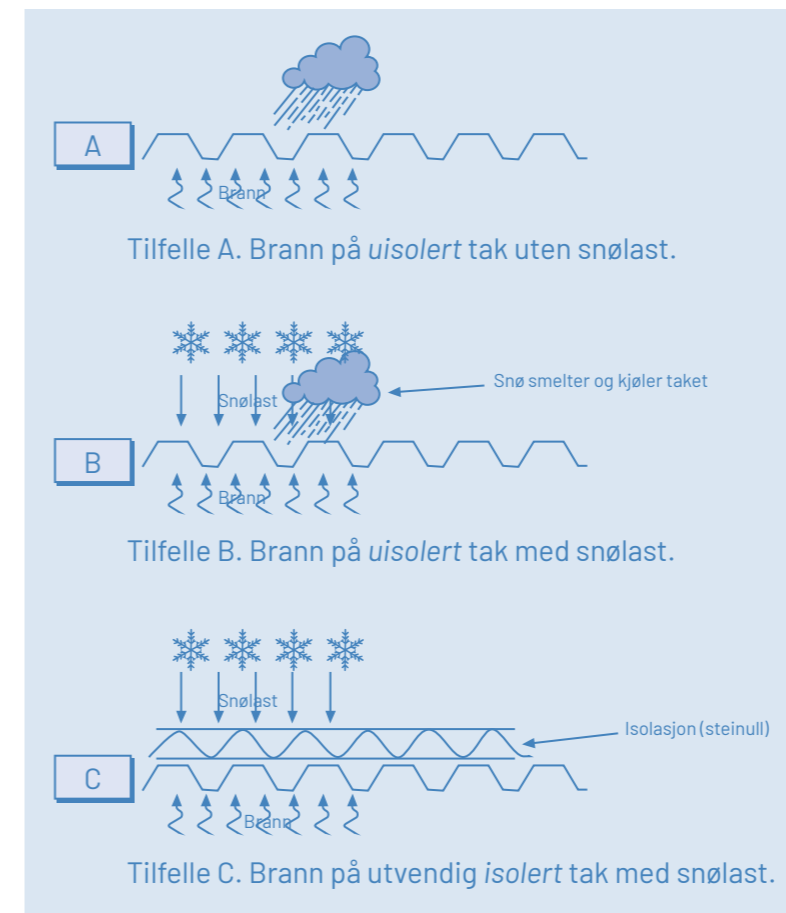


Figur 4

Ved beregning av temperaturene med TASEF deles aktuelt konstruksjonstverrsnitt ved hjelp av nodelinjer i en rekke elementer. Programmet beregner deretter suksessivt under brannen temperaturene i hver node, tar hensyn til de termiske dataene til de inngående materialene og deres variasjon med temperaturen. Se også avsnitt 3.2 nedenfor.

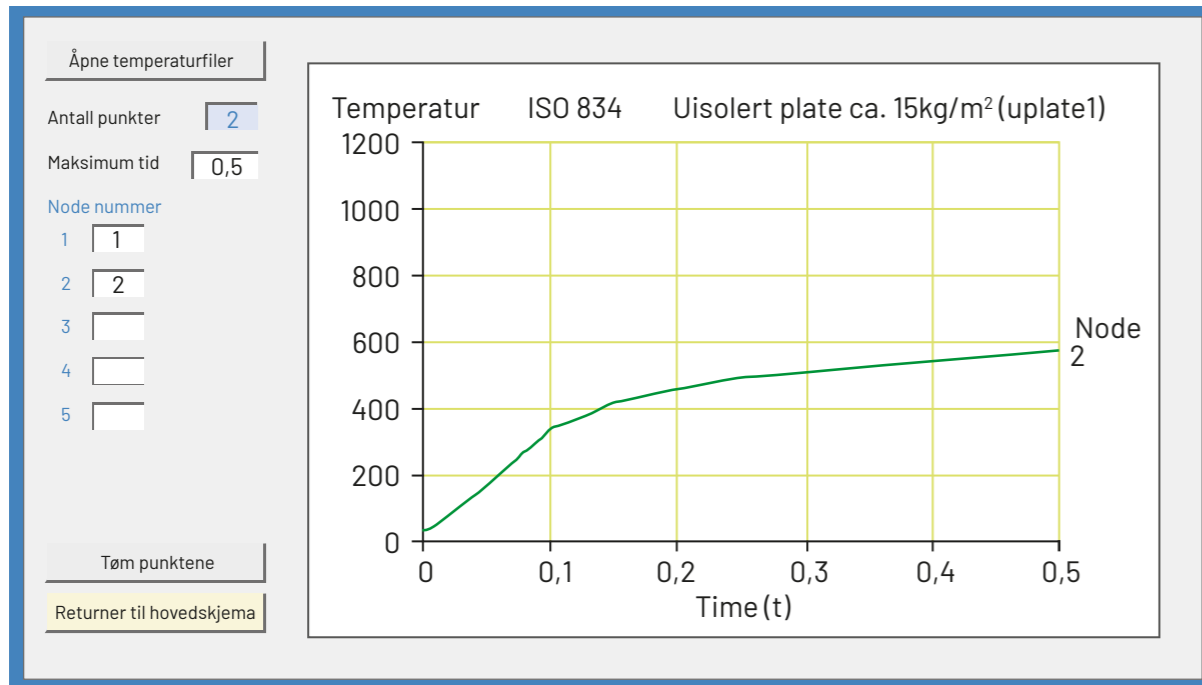
### 3.2 Temperaturer i TRP plate ved brann

I figur 5, satt sammen fra [1], vises noen ulike eksempler på platetak utsatt for brann nedenfra og ved ulike belastningstilfeller. Delfigur A er et uisolert tak uten belastning. Delfigur B er samme tak, men med snølast. Delfigur C er et varmeisolert tak av steinull, med snølast.



Figur 5

Som påpekt i [1] innebærer tilfelle A at taket kun belastes med egen vekt, som er ubetydelig. Egenvekten vil ikke føre til brudd i taket. Samtidig som platen varmes opp nedenfra skjer det et kraftig varmetap fra platens overside. En beregning med TASEF viser at platetemperaturen etter 30 minutter med standard brannpåvirkning planer ut og stabiliseres på knapt 600 grader. Se figur 6.



**Figur 6**

Ved denne temperaturen er den effektive flytegrensen for stål i henhold til Eurokode 3 [4] ca 50 % av flytegrensen ved romtemperatur.

I tilfelle B ifølge figur 5 med et uisolert platetak med snølast, er forholdene angående platetemperaturen enda gunstigere. Brannen nedenfra får snøen til å smelte, og så lenge snø finnes igjen på taket, kan platetemperaturen aldri stige mer enn til litt over 100 grader. Ved denne temperaturen er det ingen reduksjon i stålets fasthet. Når all snøen har smeltet, gjelder det ubelastede tilfellet A igjen.

Det som kan forårsake et problem er tilfelle C, i følge figur 5, der platetaket er ubeskyttet på undersiden og har varmeisolasjon på takets overside. Dette vil begrense varmeavledningen oppover og platene blir da raskt oppvarmet av brann nedenfra.

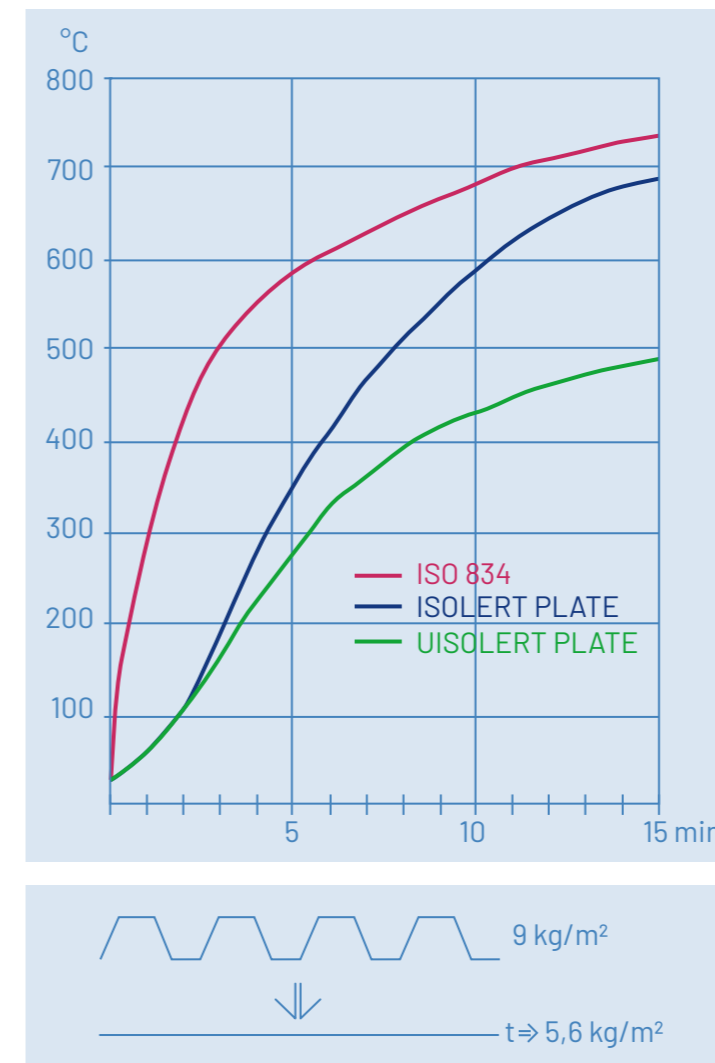
Siden platen er tynn med begrenset varmekapasitet, vil temperaturen i platen nærme seg branngasstemperaturen etter relativt kort tid. Ved dimensjonering av platen basert på membranvirkning kan det for enkelhets skyld og som en tilnærming på den sikre siden beregnes en platetemperatur som er lik branngasstemperaturen.

Ønsker man derimot å demonstrere bæreevnen gjennom fortsatt bjelkeberegning for platen ved 15 minutter (R 15), kan varmeavledningen som likevel skjer gjennom isolasjonen ha stor betydning. Etter 15 minutter er branngasstemperaturen 740 grader i henhold til ISO 834, og avhengig av varmeavledningen opp gjennom isolasjonen og avhengig av platens varmekapasitet, som er en funksjon av platevekten, vil platetemperaturen begrenses til rundt 700 grader. Ved 700 grader er den effektive flytegrensen 23 % av flytegrensen ved romtemperatur. Avhengig av utnyttelsesgraden til lasttilfellet brann, som for denne typen lette takkonstruksjoner generelt er lav, kan bæreevnen da være tilstrekkelig uten at membranvirkningen må aktiveres med de praktiske vanskelighetene dette medfører.

I [1] rapporteres et regneeksempel med det resultat at platen endres fra bøyning til membranvirkning etter ca. 12 minutters brann nedenfra i henhold til ISO 834. Som understreket i rapporten er dette et eksempel og ikke et generelt resultat. Resultatene fra slike simuleringer gjelder kun for case beregnet med hensyn til type TRP plater, belastninger, forankring mm. Andre platetykkelser, andre belastninger osv. ville gi andre tider.

Som også påpekt ovenfor, spiller heller ikke dimensjoneringen av platen for membranvirkning noen stor rolle med en viss forskjell i de resulterende temperatursvingene på platen. Som påpekt ovenfor kan det som en forenkling og en tilnærming på den sikre siden antas at platetemperaturen er den samme som branngasstemperaturen.

I figur 7 vises et eksempel på temperaturer beregnet med TASEF på platen ved brannpåvirkning i 15 minutter dels ved uisolert plate og på samme plate med en varmeisolasjon på oversiden tilsvarende ca 200 mm steinull med en densitet på ca. 150 kg/m<sup>3</sup>.



**Figur 7**

Som vist i eksemplet i figur 7, er den beregnede platetemperaturen for platene med varmeisolasjon på oversiden omtrent 40 grader under ISO 834-temperaturen på 15 minutter.

Ved beregning av temperaturene på platene er den profilerte platen erstattet med en flat plate med samme grunnvekt, og dermed samme varmekapasitet, som den profilerte platen. Se figur 8.

**Figur 8**

Dette betyr en tilnærming på den sikre siden med hensyn til beregnet temperatur på platen, siden profileringen i seg selv gir en gunstig skyggeeffekt med hensyn til

strålingen fra brannen mot platen, som tilsvarer en lavere verdi av profilmfaktor. Sammenlign med figur 9 angående «modified section factor».

**Tabell 4.5:** Boksverdi av profilmfaktor  $[A_m / V]_b$

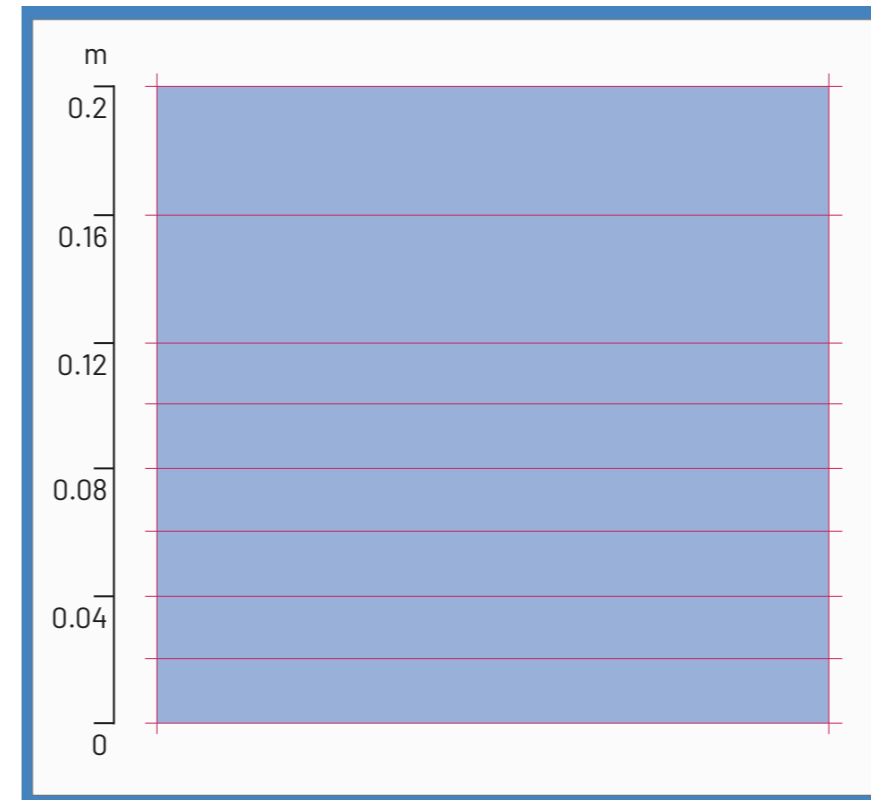
Skisse	Profilmfaktor $[A_m / V]_b$
	$\frac{2(b + h)}{\text{Tverrsnittareal stål}}$
	$\frac{2h + b}{\text{Tverrsnittareal stål}}$
	$\frac{\text{Omkrets boks}^*}{\text{Tverrsnittareal stål}}$

\*Den stiplede linjen definerer boksens omkrets som tilsvarer den minste boksen som omgir profilen (Franssen J-M, et al., 2009)

**Figur 9**

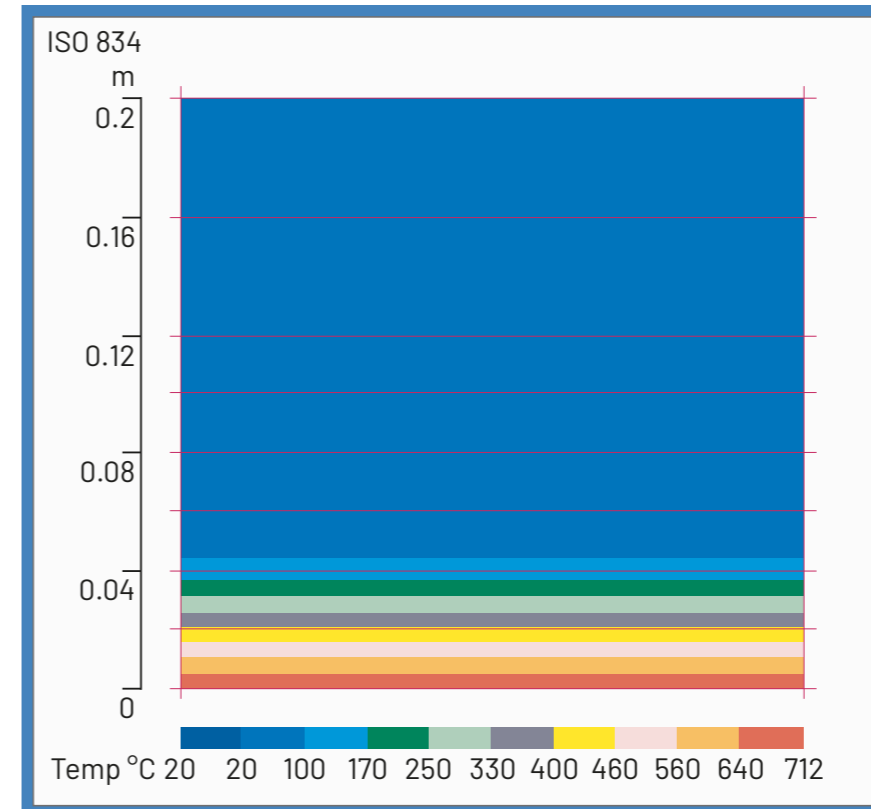
Med forholdene som ved siden av er temperaturene beregnet med TASEF for TRP plater med ulik grunnvekt og med varmeisolasjon på oversiden tilsvarende 200 mm steinull med en densitet på ca 150 kg/m<sup>3</sup>.

Den valgte nodeinndelingen i beregningen er vist i figur 10.



**Figur 10**

En variasjon i praktisk rimelige grenser av isolasjonstykkelsen over TRP-platene har ingen betydning for plate-temperaturene. I løpet av den korte tiden på 15 minutter rekker bare isolasjonen nærmest platene å «aktiveres».



**Figur 11**

Her gis et bilde av temperaturfordelingen gjennom taket og dets isolering etter 15 minutters standardbrann.

Følgende resultater kan også leses fra TASEF-utskriftene for beregnede platetemperature etter 15 minutter (R 15) for følgende vekt av platene.

Platevekt (kg/m <sup>2</sup> )	Plate-temperatur
4	708
8	705
12	702
20	695



### 3.3 Beregning av bæreevne

Ifølge Eurocode 3 [4] varierer den effektive flytegrensen med temperaturen i henhold til figur 12.

Ståltemperatur $\theta_a$	Reduksjonsfaktorer ved temperaturen $\theta_a$ relativt verdi på $f_y$ eller $E_a$ ved 20°C		
	Reduksjonsfaktor (relativt $f_y$ ) for effektiv strekkgrense	Reduksjonsfaktor (relativt $f_y$ ) for proporsjonalitetsgrensen	Reduksjonsfaktor (relativt $E_a$ ) for bøyelighet mellom det linjære og elastiske området
	$K_{y,0} = f_{y,0} / f_y$	$K_{p,0} = f_{p,0} / f_y$	$K_{e,0} = E_{a,0} / E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,060	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

Anm. For verdien mellom temeraturgrensene for linjær interpolering brukes.

Figur 12

Med beregnede platetemperaturer etter 15 minutters standard brannpåvirkning etter pkt. 3.2 som en funksjon av platevekt per m<sup>2</sup>, kan den effektive flytegrensen bestemmes i henhold til figur 12 og platenes bæreevne beregnes. Den beregnede bæreevnen skal på denne måten være større enn den aktuelle belastning på platene i lasttilfellet brann.

Ved beregning av lasten ved lasttilfellet brann inngår som parameter  $\psi$  faktor for ulike belastninger i henhold til tabell figur 13. For f.eks har snølast en  $\psi_2$  faktor på 0,2.

Tabell NA.A1.1 – Verdier for  $\psi$ -faktorer for bygninger

Last	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Nyttelastkategorier i bygninger (se NS-EN 1991-1-1):			
Kategori A: boliger	0.7	0.5	0.3
Kategori B: kontorer	0.7	0.5	0.3
Kategori C: forsamlingslokaler, møterom	0.7	0.7	0.6
Kategori D: butikker	0.7	0.7	0.6
Kategori E: lager	1.0	0.9	0.8
Kategori F: trafikk- og parkeringsarealer for små kjøretøyer (kjøretøyvekt $\leq 30$ kN og høyst 8 seter utenom fører sete)	0.7	0.7	0.6
Kategori G: trafikk- og parkeringsarealer for mellomstore kjøretøyer, $30$ kN < kjøretøyvekt $\leq 160$ kN på to akslinger	0.7	0.5	0.3
Kategori H: tak	0	0	0
Snølaster (se NS-EN 1991-1-3)	0.7 <sup>1)</sup>	0.5 <sup>1)</sup>	0.2 <sup>1)</sup>
Vindlaster (se NS-EN 1991-1-4)	0.6 <sup>1)</sup>	0.2 <sup>1)</sup>	0 <sup>1)</sup>
Temperatur (ikke brann) i bygninger (se NS-EN 1991-1-5)	0.6 <sup>1)</sup>	0.5 <sup>1)</sup>	0 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Eventuell modifisering for ulike geografiske områder kan kreves av lokale myndigheter.

#### NA.A1.3.1 Dimensjonerende verdier for laster i vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner.

Figur 13

I følge utdrag fra Eurokode 0 [5] i henhold til Figur 14 anbefales det at  $\psi_2$ -verdien skal benyttes i lasttilfellet brann.

### 4.3 Lastkombinasjoner

#### 4.3.1 Generelt

(1) For å finne relevant lasteffekt  $E_{fi,d,t}$  under brann, skal mekanisk påvirkning, pga ulykkeslast kombineres iht. EN1990 «Grunnleggende dimensjoneringsregler for bærende konstruksjoner».

(2) Den representative verdien av den variable lasten  $Q$ , kan antas å være den kvasi-permanente verdien  $\psi_{2,1} Q_1$  eller den ofte forekommende verdien  $\psi_{1,1} Q_1$ .

MERK Det nasjonale vedlegget kan spesifisere om den tilnærmet permanente verdien  $\psi_{2,1} Q_1$  eller den ofte forekommende  $\psi_{1,1} Q_1$ -verdien skal brukes. Bruk av  $\psi_{2,1} Q_1$  anbefales.

Brann er en

Figur 14

I følge tabell figur 15 er det også  $\psi_2$  som er oppgitt å gjelde med unntak av lasttilfeller hvor vind er den dominerende variable lasten. Da gjelder verdien  $\psi_1$ .

Dimensjonerende situasjon	Permanente laster		Dominerende ulykkeslast eller seismisk last	Øvrige variable laster <sup>2)</sup>	
	Ugunstig	Gunstig		Hovedlast (hvis aktuelt)	Andre laster
Ulykkesituasjon <sup>1)</sup> (Ligning 6.11a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_d$	$\psi_{1,1}$ eller $\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Seismisk situasjon (Ligning 6.12a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\eta A_{ek}$ eller $A_{Ed}$		$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

<sup>1)</sup> Se også NS-EN 1991-1-2 for ulykkesituasjonen brann. Den representative verdien for den variable lasten  $Q$  settes lik den tilnærmet permanente verdien  $\psi_{2,i} Q_{k,i}$  for alle tilfeller unntatt i kombinasjoner med vind som dominerende variabel last. Da brukes ofte forekommende verdi  $\psi_{1,1} Q_{k,1}$  for vind.

<sup>2)</sup> Variable laster er de som er oppført i tabell NA1.1.

Figur 15

Med forholdene som over beregnes aktuelle laster dels ved bruddlastdimensjonering og dels ved lasttilfellet brann for ulike lastkombinasjoner.

**a) Lasttilfellet kun snølast som variabel belastning.**

Ved bruddlastdimensjonering gjelder følgende last for snøbelastet tak av TRP plater dersom kun snølast oppstår.

$$Q_{brudd} = 1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times \mu \times Q_{snø}$$

hvor

$Q_{eg}$  = takets egenvekt

$\mu$  = faktor avhengig av takhelling etc.

$Q_{snø}$  = karakteristisk snølast

Ved brann gjelder følgende

$$Q_{brann} = 1.0 \times Q_{eg} + 1.0 \times \psi_2 \times \mu \times Q_{snø}$$

Dette betyr da at den karakteristiske snølasten må multipliseres med faktoren 0,2 ved brann (se figur 13).

Ovenstående gir følgende sammenheng X mellom dimensjonerende laster ved henholdsvis brannlasttilfelle og bruddlasttilfelle.

$$X = (1.0 \times Q_{eg} + 1.0 \times 0.2 \times \mu \times Q_{snø}) / (1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times \mu \times Q_{snø})$$

Forholdet X er vist grafisk i figur 16 som funksjon av takets egenvekt  $Q_{eg}$  i forhold til snølasten  $\mu \times Q_{snø}$ .

**b) Lasttilfellet egenvekt + snø + vind (hovedlast for snø)**

Ved dimensjonering av bruddlast gjelder følgende

$$Q_{brudd} = 1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times \mu \times Q_{snø} + 1.5 \times \psi_0 \times Q_{vind}$$

hvor

$Q_{vind}$  = karakteristisk vindlast

$\psi_0$  (vind) = 0.6 (se figur 13)

Ved brann gjelder følgende

$$Q_{brann} = 1.0 \times Q_{eg} + 1.0 \times 0.2 \times \mu \times Q_{snø} + 1.0 \times \psi_2 \times Q_{vind}$$

hvor

$\psi_2$  (vind) = 0 (se figur 13)

Ovenstående gir følgende sammenheng X mellom dimensjonerende laster ved brannlasttilfellet og bruddlasttilfellet ved variable laster i form av både snø og vind og med snø som hovedbelastning.

$$X = (1.0 \times Q_{eg} + 1.0 \times 0.2 \times \mu \times Q_{snø}) / (1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times \mu \times Q_{snø} + 1.5 \times 0.6 \times Q_{vind})$$

Ved sammenligning med belastningstilfelle a) kan det fastslås at belastningstilfelle b) betyr lavere verdier av forholdet X. Telleren er lik i begge tilfeller mens nevneren inneholder en annen faktor.

**c) Lasttilfellet egenvekt + vind + snø (vind hovedlast)**

Ved dimensjonering av bruddlast gjelder følgende

$$Q_{brudd} = 1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times Q_{vind} + 1.5 \times \psi_0 \times \mu \times Q_{snø}$$

hvor

$Q_{vind}$  = karakteristisk vindlast

$\psi_0$  (snø) = 0.7 (se figur 13)

Ved lasttilfellet brann gjelder følgende

$$Q_{brann} = 1.0 \times Q_{eg} + 1.0 \times \psi_1 \times Q_{vind} + 1.0 \times \psi_2 \times \mu \times Q_{snø}$$

hvor

$\psi_1$  (vind) = 0.2 (se figur 13)

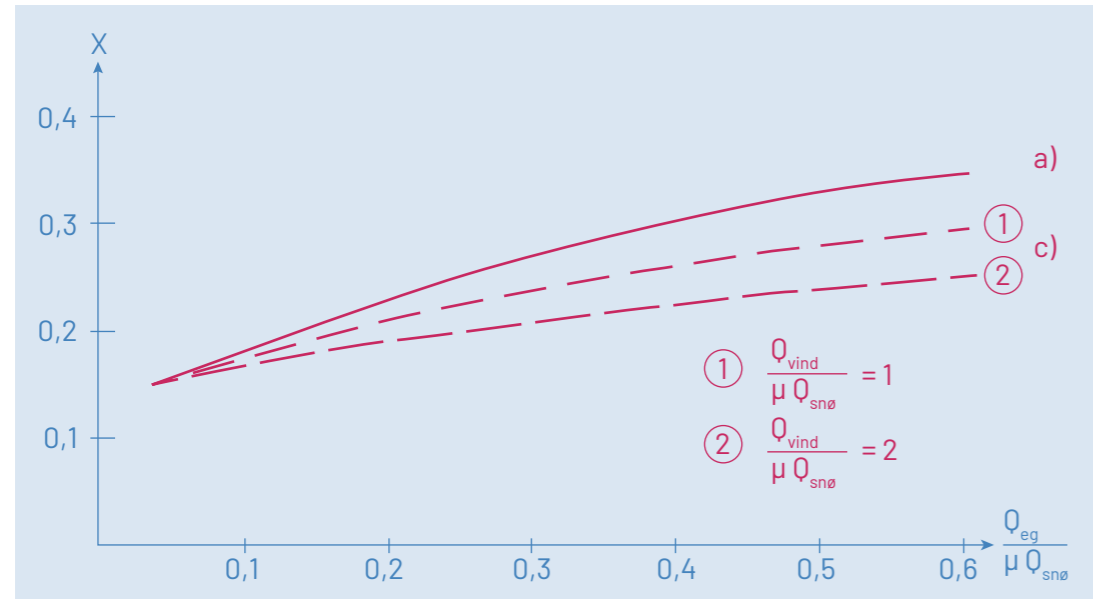
$\psi_2$  (snø) = 0.2 (se figur 13)

Ovenstående gir følgende sammenheng X mellom dimensjonerende laster ved brannlasttilfellet og bruddlasttilfellet ved variable belastninger i form av både snø og vind og med vind som hovedbelastning.

$$X = (1.0 \times Q_{eg} + 1.0 \times 0.2 \times Q_{vind} + 1.0 \times 0.2 \times \mu \times Q_{snø}) / (1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times Q_{vind} + 1.5 \times 0.7 \times \mu \times Q_{snø})$$

I figur 16 er denne sammenhengen vist som funksjon av forholdet mellom egenvekt og snølast, dels for forholdet henholdsvis  $Q_{vind} / \mu \times Q_{snø} = 1$  og  $Q_{vind} / \mu \times Q_{snø} = 2$

Som det fremgår av figuren er lasttilfellet a) alltid dimensjonerende, dvs. den variable belastningen består kun av snølast. Belastningskombinasjoner med både snølast og vindlast gir lavere verdi av forholdet X mellom lasttilfelle brann og lasten ved bruddlastdimensjonering.



Figur 16

Utnyttelsesgraden ved lasttilfellet brann U kan skrives:

$$U = X \alpha$$

hvor

$\alpha$  = utnyttelsesgraden ved bruddlastdimensjonering.

Dersom egenvekten for eksempel er 30 % av snølasten ( $\mu \times Q_{snø}$ ) og utnyttelsesgraden for bruddlastdimensjoneringen er 90 %, vil utnyttelsesgraden ved lasttilfellet brann  $U = 0,27 \times 0,90 = 0,24$

I følge figur 12 betyr dette at temperaturen på platene kan få stige til i underkant av 700 grader. Ved 700 grader er nemlig den effektive flytegrensen på 0,23 av den opprinnelige flytegrensen ved romtemperatur og bruddlastdimensjonering.

De beregnede resultatene etter ovenstående er bl.a. bevist av branntester utført på tak med TRP plate [6].

TRP platene hadde en profilhøyde på 130 mm, en tykkelse på 0,7 mm og en vekt på 8,9 kg/m<sup>2</sup>. På oversiden var det varmeisolering av steinull (Paroc) med en total tykkelse på ca 250 mm.

Materialkvalitet på platen tilsvarte S350. Spennet var 4,0 m og belastningen tilsvarende en snølast på 0,9 kN/m<sup>2</sup>. Dette innebar en utnyttelsesgrad av platen i branntesten på ca 22 %. Estimert brannmotstandstid i testen var 21 minutter, dvs. at konstruksjonen møtte brannmotstand R 15 med margin uten membranvirkning.

Paroc har også utført tilsvarende branntester med samme tak beskyttet mot brann på undersiden med 50 mm Paroc FPS 17. [7] Testen viste at brannmotstand R 60 ble møtt med god margin.

Med denne testen som grunnlag er det laget dimensjoneringsdata som det kan fastslås hvilken isolasjonstykkelse på Paroc FPS 17 på platens underside som kreves for at brannmotstand R 30, R 60, R 90 etc. skal oppfylles avhengig av på TRP platenes utnyttelsesgrad etc. ved lasttilfellet brann [8].

**Også i dette tilfellet bæres lasten på samme måte som ved bruddlastdimensjonering, dvs. uten at membranvirkningen må aktiveres med de praktiske komplikasjoner dette kan medføre.**

## 4 Sammendrag av resultatene

For å forenkle den praktiske dimensjoneringen for å overholde R 15 i henhold til gjeldende norske forskrifter vedrørende laster mv., kan de generelle resultatene som over benyttes med følgende betingelser.

### Platetykkelse etc.

Platetykkelse antas å være minst 0,7 mm. Dette tilsvarer en platevekt på ca. 9 kg/m<sup>2</sup>. Beregnet plate-temperatur ifølge pkt. 3.2 kan da på den sikre siden antas å være 705 grader etter 15 minutters standard brannpåvirkning (R 15). Dette gir igjen en mulig utnyttelsesgrad ved lasttilfellet brann på 0,22. Se figur 12.

At platen er perforert endrer ikke forholdene ovenfor. Det er nemlig ingen målbar forskjell i plate-temperatur mellom en uperforert og en perforert plate. Derfor kan utnyttelsesgraden ved lasttilfellet brann behandles på samme måte som ved uperforert plate. Den perforerte platen har selvsagt noe lavere bæreevne enn tilsvarende uperforert plate, noe som tas i betraktning ved at utnyttelsesgraden ved brann er relatert til den perforerte platens bæreevne.

### Egenvekt

Takets totale egenvekt, inklusiv isolering, takteking etc., antas å være 0,4 kN/m<sup>2</sup>. Eneste parameter vil da være den aktuelle snølasten og utnyttelsesgraden i bruddlastdimensjoneringen. Dette illustreres i tabellen nedenfor. Der angis tillatte utnyttelsesgrader ved bruddlastdimensjonering med ulike snølaster i lasttilfellet brann. Utnyttelsesgraden skal ikke bli høyere enn 0,22.

Snølast	Tillatt utnyttelsesgrad ved bruddlastdimensjonering	Utnyttelsesgrad ved brannlasttilfellet
0.8 x 4.5 = 3.6	100 %	0.19
0.8 x 4.0 = 3.2	100 %	0.20
0.8 x 3.5 = 2.8	100 %	0.21
0.8 x 3.0 = 2.4	100 %	0.22
0.8 x 2.5 = 2.0	95 %	0.22
0.8 x 2.0 = 1.6	88 %	0.22
0.8 x 1.5 = 1.2	78 %	0.22
0.8 x 1.0 = 0.8	67 %	0.22

Ovennevnte betyr at for en dimensjonerende snølast på 2,4 kN/m<sup>2</sup> eller høyere vil utnyttelsesgraden ved brann være 0,22 eller lavere selv om duken utnyttes til 100 % ved bruddlastdimensjoneringen.

Brannlasttilfellet er da ikke dimensjonerende. Kun ved lavere dimensjonerende snølast er enn 2,4 kN/m<sup>2</sup> skal utnyttelsesgraden for bruddlastdimensjonering reduseres ifølge tabellen slik at utnyttelsesgraden for i lasttilfellet ikke overstiger 0,22.

Nedenfor er også dimensjoneringsdata som du kan bestemme nødvendig isolasjonstykkelse på Paroc FPS 17 på platens underside slik at brannmotstand R 30, R 60, R 90 etc. oppfylles avhengig av TRP-platenes utnyttelsesgrad mv. ved lasttilfellet brann og uten at membranvirkning brukes [8].

U	R 15	R 30	R 60	R 90
0,10	0	20	30	40
0,22	0	20	40	50
0,30	20	20	40	60
0,40	20	20	50	70
0,50	20	30	60	70
0,60	20	30	60	80
0,70	20	30	60	80

$$U = \frac{M_{\text{Brudd}} \times Q_{\text{Brann}}}{M_D \times Q_{\text{Brudd}}}$$

- $M_D$  = Gjeldende TRP-profilens momentkapasitet (kNm)
- $M_{\text{Brudd}}$  = Dimensjonerende moment for bruddlastdimensjonering (kNm)
- $Q_{\text{Brann}}$  = Dimensjonerende last ved lasttilfellet brann (kN/m<sup>2</sup>)
- $Q_{\text{Brudd}}$  = Dimensjonerende last ved bruddlastdimensjonering (kN/m<sup>2</sup>)

Eksempel

Tak av TRP plater i Norge innenfor snøsone 2,0 kN/m<sup>2</sup>

Egenvekt tak = 0.4 kN/m<sup>2</sup>

Krav på brannmotstand R 60

$$Q_{\text{Brudd}} = 1,2 \times 0,4 + 1,5 \times 0,8 \times 2,0 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{Brann}} = 1,0 \times 0,4 + 1,0 \times 0,2 \times 0,8 \times 2,0 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{\text{Brudd}} = 24 \text{ kNm}$$

$$M_D = 25 \text{ kNm}$$

$$U = \frac{24 \times 0,72}{25 \times 2,88} = 0,24$$

Nødvendig isolasjonstykkelse i henhold til tabellen er 40 mm.

**Å oppfylle en viss brannmotstand som ovenfor, f.eks. R 15, R 30 eller R 60 uten å utnytte membranvirkningen, betyr at det ikke stilles spesifikke krav til innfestingene utover de som gjelder for normal dimensjonering. Tak dimensjonert for skivevirkning under bruddlastdimensjoneringen kan antas å fungere med skivevirkning også ved brannlasttilfellet. Løsningene er dermed mye enklere enn løsninger der membranvirkningen brukes for å møte en viss brannmotstand.**

## 5 Referanser

- [1] Rapport STF22 F99848 , Per Arne Hansen og Tore Holmsås, SINTEF Bygg och miljøeknikk, datert 1999-10-01
- [2] Rapport MT70 F02-169 (Marintek), Ernst Edberg fra Byggcob AS, datert 2002-07-04
- [3] Fire Safety in timber buildings. Technical guideline for Europe, SP report 2010:19
- [4] EN 1993-1-2
- [5] EN 1990/NA
- [6] TEST REPORT FIRES- FR-189-15-AUNE. 20/12/2012. www.fires.sk
- [7] TEST REPORT FIRES- FR-190-15-AUNE. 20/12/2012. www.fires.sk
- [8] Brandteknisk analys och dimensionering av stålplåttak skyddade mot brand av PAROC FPS 17. Jörgen Thor, Brandskyddslaget, Rapport 2019-10-24

