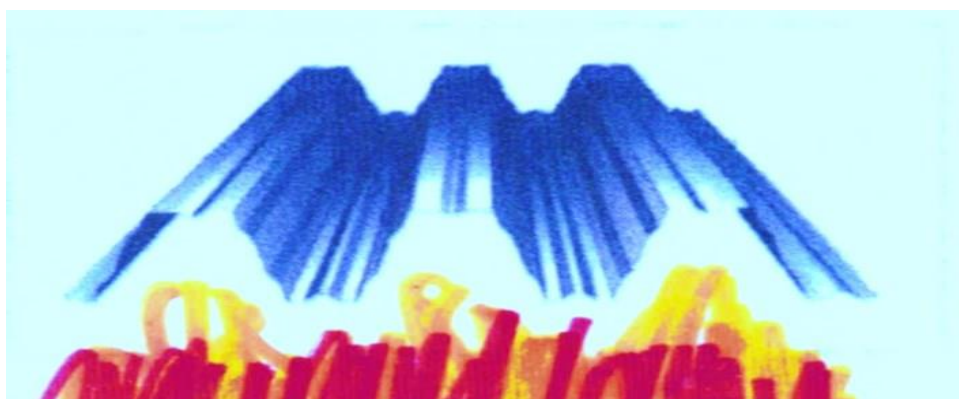


Brannteknisk rapport for selvbærende stålplatetak

BRANDSKYDDSLAGET



Brannteknisk rapport for selvbærende stålplatetak

1. utgave 2019

Utgitt av



Norsk Stålforbund
www.stalforbund.no

Denne rapporten er utarbeidet av Dr. Teknologie 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: 2019-10-28

IGS ble stiftet i 1978 med hovedmål å fremme faglig utvikling, kunnskap og anvendelse av tynnplater i bygge-bransjen. IGS er et av Norsk Stålforbunds basismedlemmer.

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

ISBN: 978-82-91466-23-1

Copyright © 2019 Norsk Stålforbund

Lay-out: Kjetil Myhre

Trykk og innbinding: Interface Media as

INNHOLDSFORTEGNELSE

- 1 Bakgrund
- 2 Tak av TRP plåt och krav på brandteknisk klass
 - 2.1 Brandteknisk indelning av verksamheter och byggnader enligt TEK 17
 - 2.2 Konstruktioner utan specificerade krav på brandmotstånd
 - 2.3 Konstruktioner som kan utföras i brandteknisk klass R 15
- 3 Förutsättningar för att uppfylla brandteknisk klass R 15
 - 3.1 Allmänt
 - 3.2 Temperaturer i TRP plåt vid brand
 - 3.3 Beräkning av bärförmågan
- 4 Sammanfattande resultat
- 5 Referenser

1 Bakgrund

Mot brand oskyddad trapetsprofilerad plåt till ett yttertak kommer vid brand underifrån att uppvärmas snabbt. Med stigande plåttemperatur sjunker materialets hållfasthet. När hållfastheten reduceras så mycket att flytspänning uppnås över plåttvärsnittet för den last som belastar plåten vid brandtilfallet, upphör plåtens förmåga att uppbära lasten i form av balkverkan. Under vissa förutsättningar kan dock lasten fortfarande uppbäras av plåten. Plåten kan nämligen komma att fungera genom membranverkan som en "hängmatta" med stora deformationer mellan plåtens upplag.

Detta innebär att plåten kommer att uppbära lasten genom dragspänningar i stället för genom böjspänningar. Det hela förutsätter att plåten har tillräcklig deformationsförmåga så att tillräckligt stor nedböjning uppnås innan brott riskerar inträffa. Horisontella linkrafter uppkommer också som ställer krav på infästningen av plåten till sina upplag. I innerfack kan dessa horisontella linkrafter ta ut varandra men i byggnadens ändar måste dessa horisontella krafter tas om hand och föras ned till grunden. Ett sätt att göra detta kan vara att plåten i ytterfacken skyddas underifrån mot brand, t e x med skivor av stenulls med hög densitet. Ytterfacken kan då fungera som styva horisontella skivor och de uppkomna linkrafterna, som en följd av membranverkan, därifrån föras ned till grunden via diagonaler eller kryss i vägarna.

En annan aspekt att tänka på vid lastupptagning genom membranverkan vid brandlastfallet är när plåten utnyttjas för skivverkan för att stabilisera byggnaden mot horisontella krafter vid brottlastdimensioneringen. Man kan då inte utan vidare förutsätta att skivverkan fortfarande fungerar vid lastfallet brand eftersom plåten kraftigt hänger ner mellan sina upplag. En extra bedömning och/eller extra åtgärder för att hantera detta kan då krävas.

Att lastupptagning genom membranverkan hos TRP plåt kan fungera visades bl. a i samband med brandprov på 1980- talet vid SP i Borås med ett belastad plåttak. Undertecknad ansvarade för dessa försök för Stålbyggnadsinstitutets räkning. Provet pågick i 60 minuter utan kollaps av plåten. SINTEF i Norge har med hänvisning till bl. a dessa försök genom olika beräkningar tagit fram underlag med vars hjälp plåten kan dimensioneras för denna typ av membranverkan vid brand [1], [2].

Beroende på aktuella laster på plåten vid lastfallet brand samt plåttjocklek mm kan brandmotståndstider på 60 minuter uppnås (R 60) utan att plåten måste brandskyddas underifrån. Dock ställs då enligt ovan krav på infästningarna samt att de genom membranverkan uppkomna horisontella krafterna kan tas om hand och föras vidare ned till grunden. Även extra åtgärder kan komma att krävas då plåten dimensioneras för skivverkan.

I vissa fall skulle det vara en klar fördel att endast ett begränsat brandmotstånd, t e x R 15, kunde uppnås med oskyddad plåt utan att membranverkan behöver aktiveras men att plåten fungerar som ursprungligt genom balkverkan. Några horisontella linkrafter som måste tas om hand uppkommer då aldrig.

En sådan lösning skulle vidare innebära att några speciella krav på infästningarna utöver de som gäller vid vanlig dimensionering inte ställs. Inte heller skulle ytterfacken behöva skyddas underifrån vid brand. Tak dimensionerade för skivverkan skulle också fungera med skivverkan även vid brandlastfallet. Lösningarna blir därmed betydligt enklare än lösningar där man utnyttjar membranverkan för att uppfylla en viss brandteknisk klass.

I avsnitt 2 ges exempel på när inga specificerade krav på brandteknisk klass ställs respektive när R 15 kan ha aktualitet för plåttak i Norge enligt Byggteknisk forskrift (TEK 17).

I avsnitt 3 redovisas de förutsättningar som gäller för att underifrån oskyddad takplåt ska uppfylla brandteknisk klass R 15.

I avsnitt 4 sammanställs resultaten i form av en dimensioneringstabell för praktisk dimensionering.

2 Tak av TRP plåt och krav på brandteknisk klass

2.1 Brandteknisk indelning av verksamheter och byggnader enligt TEK 17

Kraven på en bärande konstruktions brandmotstånd enligt de norska byggbestämmelserna framgår av Byggteknisk forskrift (TEK 17). Det vanligaste är att kraven uppfylls med preaccepterade lösningar i form av angivna brandmotståndskrav R 15, R 30, R 60 etc beroende på typ av verksamhet och typ av byggnad.

Olika verksamheter hänförs i TEK 17 till olika riskklasser (1-6) beroende på vilket hot en brand kan riskera innebära för skada på liv och hälsa inom respektive verksamhet. Några exempel på indelning i riskklasser ges nedan. En mer heltäckande sammanställning finns i TEK 17.

Riskklass 1: Carport, flyghangar, fryslager, garage i ett plan

Riskklass 2: Industri, kontor, lager, garage i två eller fler plan

Riskklass 3: Skola, lekskola

Riskklass 4: Bostad, brandstation med övernattning, studentbostad

Riskklass 5: Samlingslokal, idrottshall, konferenscenter, trafikterminal

Riskklass 6: Fängelse, hotell, sjukhus

Riskklassen tillsammans med byggnadens våningsantal avgör om konsekvensen av en brand kan bedömas bli liten, medel eller stor och bestämmer byggnadens s. k. brandklass (BKL1- BKL3). Se utdrag ur TEK 17 enligt figur 1.

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
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

Oberoende av riskklass hänförs alltså alla envåningsbyggnader till brandklass BKL1 där kraven på brandmotstånd i regel är minst. Detsamma gäller byggnader med två våningsplan tillhörande riskklasserna 1-4.

Byggnadsklassen enligt ovan avgör sedan kravet på brandmotstånd (R 30 - R 120) för olika bärande byggnadsdelar. Se utdrag ur TEK 17 enligt 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 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 flammepåvirkning og strålevarme	-	R 30 [B 30] eller A2-s1,d0 [ubrennbar]	A2-s1,d0 [ubrennbar]

Figur 2

I tabellen angivna lägsta krav på brandteknisk klass är R 30. Detta krav klarar i regel inte oskyddad TRP plåt, såvida inte membranverkan utnyttjas.

Å andra sidan finns ett antal preaccepterade undantag från tabellen ovan med praktisk tillämpning på bl. a. tak av TRP plåt. Dessa undantag kan innebära att inga preciserade krav alls ställs på TRP takets brandmotstånd. I andra fall kan de preaccepterade undantagen innebära att kraven ovan reduceras från t e x R 30 till R 15. Brandteknisk klass R 15 är möjligt att uppfylla för tak av TRP plåt utan att utnyttja lastupptagning genom membranverkan och utan att skydda plåten på undersidan. Se avsnitt 3.

2.2 Konstruktioner utan specificerade krav på brandmotstånd

- 1) I Byggnader i en etasje tillhörande riskklass 2 ställs inga krav på specificerat brandmotsånd förutsatt att **de bärande konstruktionerna är obrännbara**.

Exempel på tillämpning: En etasje kontor, lager, industri, garage

- 2) I byggnader utan loft kan takkonstruktion utföras utan specificerat brandmotstånd, förutsatt att detta inte har avgörande betydelse för byggnadens stabilitet under **utrymningsfasen** och förutsatt att byggnaden kan hänföras till **brandklass BKL1** (se tabell enligt figur 1). Vidare gäller att **alla material i takkonstruktionen, inklusive isoleringen ska vara obrännbara**.

Beträffande stabiliteten under utrymningsfasen kan följande konstateras. Även om TRP plåten vid normal dimensionering är stomstabiliserande genom skivverkan kan stabiliteten vid lastfallet brand ändå normalt antas tillfyllest under utrymningsfasen. Utrymningen måste nämligen vara slutförd långt innan temperaturerna gene-

rellt i taknivå börjar bli kritiska för takets bärförmågan. När temperaturerna i taknivå börjar bli kritiska för bärförmågan riskerar nämligen hela byggnaden att övertändas. Under utrymningsfasen kan därmed förutsättas att branden måste vara lokalt begränsad. Bärförmågan av TRP plåten kan då endast äventyras lokalt samtidigt som den dimensionerande vindlasten vid lastfallet brand är mycket begränsad. Detta innebär att man med fog bör kunna hävda att stabiliteten för byggnaden under utrymningsfasen, på grund av eventuellt lokalt skadad TRP plåt, inte utgör ett problem.

För att kunna hävda undantaget från tabellen enligt figur 2 för TRP plåten gäller sålunda att byggnaden kan hänföras till brandklass BKL1 enligt figur 1 samt att isoleringen är obrännbar.

Exempel på tillämpning: Alla byggnader i en etasje oberoende av riskklass enligt ovan (inkluderande t e x samlingslokaler, idrottshallar, sjukhus mm) samt även byggnader i två etasjer om de tillhör riskklass 1 till 4 (t e x skola, barnhem, bostad, brandstation med övernattning).

Notera att för tillämpningen ovan gäller att även isoleringen ska vara obrännbar samt att man enligt ovan kan förutsätta att den preaccepterte lösningen, utan specificerat krav på brandmotstånd, inte har avgörande betydelse för byggnadens stabilitet under utrymningsfasen.

2.3 Konstruktioner som kan utföras i brandteknisk klass R 15

- 1) Byggnad i **en etasje** som tillhör riskklass 2 (t e x industri, lager, kontor, parkeringshus), riskklass 3 (t e x skola) och riskklass 5 (t e x samlingslokal, idrotts-hall, biograf, kyrka) kan ha huvud- och sekundärbärsystem med brandmotstånd R 15.

Jämfört med undantaget 2) i avsnitt 2.2 ställs då inga krav på att isoleringen måste vara obrännbar. Man kan i princip betrakta det hela såsom att kravet på obrännbar isolering kan bytas mot ett R 15 krav på plåten.

- 2) Byggnad i brandklass BKL1 och riskklass 4 (t e x barnhem, bostad, student-bostad) i **en och två etasjer** kan ha huvud- och sekundärbärsystem i brandteknisk klass R 15 .

3 Förutsättningar för att uppfylla brandteknisk klass R 15

3.1 Allmänt

Generellt gäller att en brandavskiljande eller en bärande konstruktions brandmotstånd får bestämmas genom

- * Provning
- * Beräkning
- * Kombination av provning och beräkning

I Eurokoderna för betong-, stål-, samverkans- respektive träkonstruktioner finns anvisningar för beräkning av olika konstruktioners brandmotstånd. Vanligtvis beräknas konstruktionens temperatur vid ett givet krav på brandklass t e x EI 60 för en avskiljande konstruktion eller R 60 för en bärande konstruktion när konstruktionen utsätts för en standardbrandpåverkan enligt ISO 834.

För avskiljande konstruktioner gäller att temperaturökningen på den icke brand-exponerade sidan inte får överstiga 140 grader i genomsnitt efter den föreskrivna tiden , t e x 60 minuter.

För bärande konstruktioner - i aktuellt fall yttertak av TRP plåt - gäller att plåten vid en standardbrandpåverkan enligt ISO 834 under t. e. x. 15 minuter ska ha en bärförmåga som är större än aktuell belastning vid lastfallet brand.

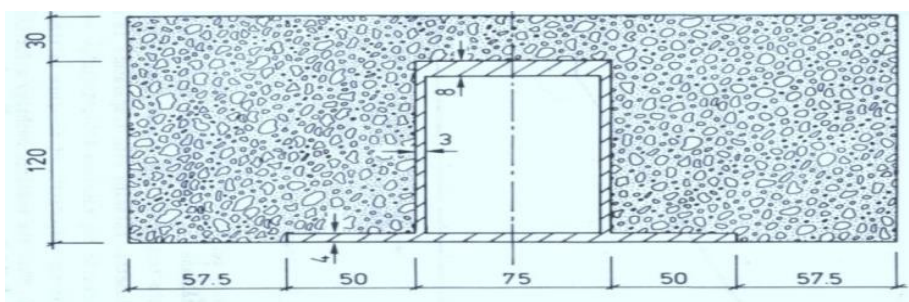
För att kunna göra beräkningar enligt ovan måste de i konstruktionen ingående materialens termiska data såsom värmeledningstal och specifika värmekapacitet och dessas variation med temperaturen vara kända. Värmeledningstalet ökar med ökad temperatur för de allra flesta material. För exempelvis stenullsprodukter ökar värmeledningstalet mer för lätta produkter jämfört med tyngre sådana även om värmeledningstalet är detsamma vid rumstemperatur.

Värmeledningstal och specifik värmekapacitet som funktion av temperaturen finns angivna i Eurokod för betong, stål och trä och dessa värden kan sålunda direkt användas som ingångsdata vid beräkning av brandmotstånd enligt ovan. För b.l.a. stenull finns motsvarande data redovisade i [3]

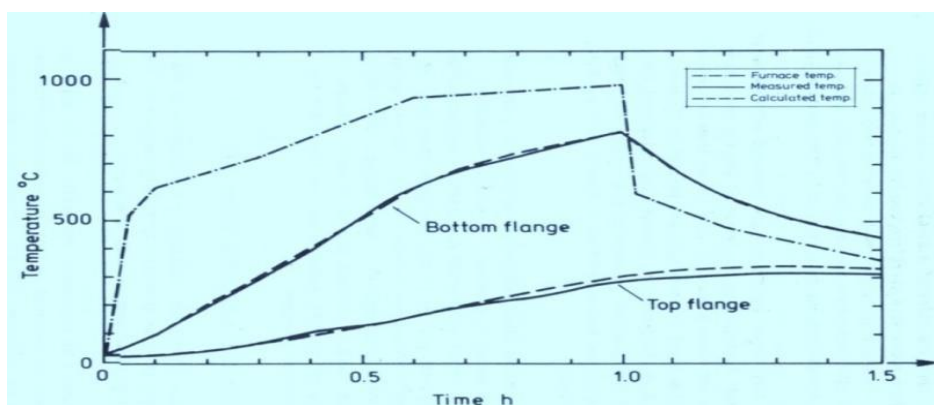
Temperaturen i en konstruktion utsatt för brand kan t. e. x. beräknas med det två-dimensionella värmeledningsprogrammet TASEF . (Temperature Analysis of Structures Exposed to Fire) utvecklat av professor Ulf Wickström, Luleå Tekniska Universitet. Ulf Wickström var tidigare mångårig chef på SP brandprovningsslaboratorium i Borås och TASEF programmet har använts och verifierats mot ett stort antal brandprovningar.

Som exempel från manualen till TASEF visas i figur 3 en hattbalk av stål i ett betongbjälklag samt i figur 4 uppmätta respektive med TASEF beräknade temperaturer i balkens symmetrilinje för underfläns och överfläns.

.



Figur 3

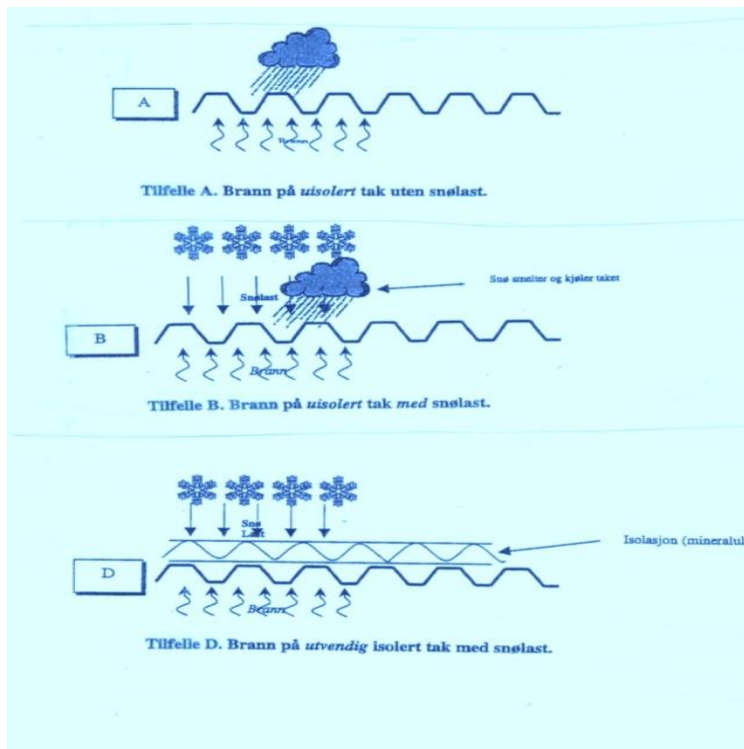


Figur 4

Vid beräkning av temperaturerna med TASEF indelas aktuellt konstruktionstvärnsnitt med hjälp av nodlinjer i ett antal element. Programmet beräknar sedan successivt under branden temperaturerna i varje nodpunkt varvid hänsyn tas till de ingående materialens termiska data och dessas variation med temperaturen. Se vidare avsnitt 3.2 nedan.

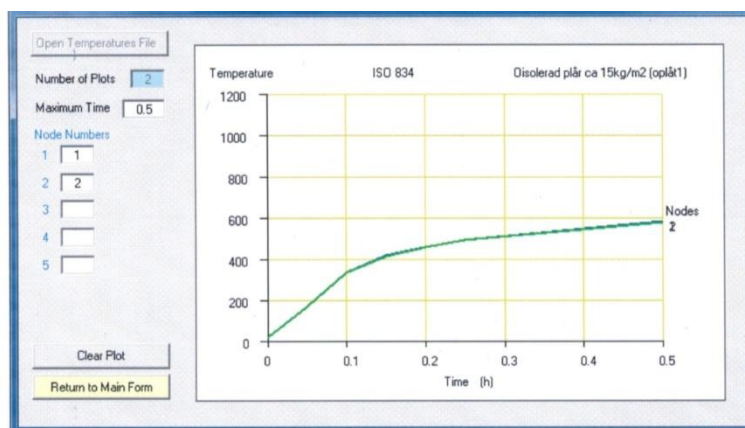
3.2 Temperaturer i TRP plåt vid brand

I figur 5, sammanställd från [1], visas några olika exempel på plåttak utsatta för brand underifrån och vid olika belastningsfall. Delfigur A är ett oisolerat tak utan belastning, B samma tak med snöbelastning samt D ett på ovansidan med stenull isolerat tak, samtliga utsatta för brand underifrån.



Figur 5

Som påpekas i [1] innebær fall A att taket endast belastats med sin egenvekt, vilken är försumbar. Egenvekten kommer inte att leda till brott av taket. Tilläggas kan att samtidigt som plåten värms underifrån sker en kraftig värmeavgång från plåtens ovansida. En beräkning med TASEF visar att plåttemperaturen efter 30 minuters standardbrandpåverkan planar ut och stabiliserar på knappt 600 grader. Se figur 6.



Figur 6

Vid denna temperatur utgör den effektiva sträckgränsen för stål enligt Eurokod 3 [4] ca 50 % av sträckgränsen vid rumstemperatur.

I fall B enligt figur 5 med ett oisolerat plåttak med snöbelastning är förhållandena vad beträffar plåttemperaturen ännu gynnsammare. Branden underifrån gör att snön smälter och så länge snö finns kvar kan aldrig plåttemperaturen stiga mer än till drygt 100 grader. Vid denna temperatur finns ingen reduktion av stålets hållfasthet överhuvudtaget. När all snö smält är det åter alternativ A som gäller.

Det fall som innebär ett problem vid ett på undersidan oisolerat plåttak är fall D enligt figur 5. Isoleringen på takets ovansida gör att värmeavledningen uppåt begränsas och plåten kommer då att snabbt uppvärmas vid en brand underifrån.

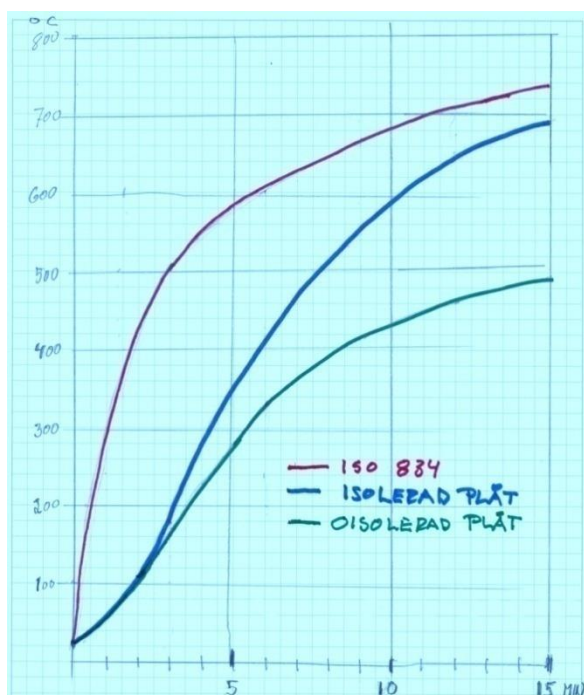
Eftersom plåten är tunn med begränsad värmekapacitet kommer temperaturen i plåten efter en relativt kort tid att närma sig brandgastemperaturen. Vid en dimensionering av plåten baserad på membranverkan kan man, för enkelhets skull och som en approximation på säkra sidan, räkna med en plåttemperatur som är densamma som brandgastemperaturen.

Om man däremot vill påvisa bärförmågan genom fortsatt balkverkan för plåten vid 15 minuter (R 15) kan den värmeavledning som trots allt sker upp genom isoleringen ha stor betydelse. Efter 15 minuter är brandgastemperaturen 740 grader enligt ISO 834, och beroende på värmeavledningen upp genom isoleringen samt beroende av plåtens värmekapacitet, som är en funktion av plåtvikten, kommer plåttemperaturen att begränsas till runt 700 grader. Vid 700 grader utgör den effektiva sträckgränsen 23 % av sträckgränsen vid rumstemperatur. Beroende på utnyttjandegraden vid lastfallet brand, som för denna typ av lätt takkonstruktion generellt sett är låg, kan bärförmågan då vara tillräcklig utan att membranverkan måste aktiveras med de praktiska svårigheter detta medför.

I [1] redovisas ett beräkningsexempel med resultat att plåten övergår från böjning till membranverkan efter ca 12 minuters brandpåverkan underifrån enligt ISO 834. Som understryks i rapporten är detta ett exempel och inte något generellt resultat. Resultaten från sådana simuleringar gäller endast för det fall som beräknats med hänsyn till typ av TRP plåt, belastningar, förankring mm. Andra plåttjocklekar, andra belastningar mm skulle ge andra tider.

Som också påpekats ovan spelar det vid dimensionering av plåten för membranverkan heller ingen större roll med en viss skillnad i uppkomna plåttemperaturer. Man kan som påpekats ovan, som en förenkling och en approximation på säkra sidan, förutsätta att plåttemperaturen är densamma som brandgastemperaturen.

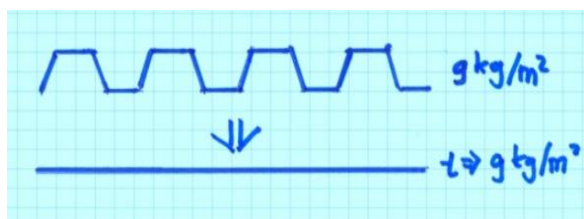
I figur 7 visas ett exempel på med TASEF beräknade temperaturer i plåten vid en brandpåverkan under 15 minuter dels vid en oisolerad plåt dels vid samma plåt isolerad på ovansidan med en isolering motsvarande ca 200 mm stenull med densitet ca 150 kg/m³.



Figur 7

Som framgår av eksemplet i figur 7 ligger beräknad plåttemperatur för den på ovasidan isolerade plåten ca 40 grader under ISO 834 temperaturen vid tiden 15 minuter.

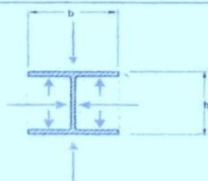
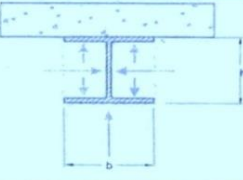
Vid beräkningen av plåttemperaturerna har den profilerade plåten ersatta med en plan plåt med samma ytvikt, och därmed samma värmekapacitet, som den profilerade plåten. Se figur 8.



Figur 8

Detta innebär en approximation på säkra sidan vad gäller beräknad plåttemperatur eftersom profileringen i sig resulterar i en gynnsam skuggeffekt vad gäller strålningen från branden mot plåten vilket motsvarar ett lägre värde på den s. k. sektionsfaktorn. Jämför figur 9 angående "modified section factor".

Table 4.5: Box value of the section factor $[A_m / V]_b$

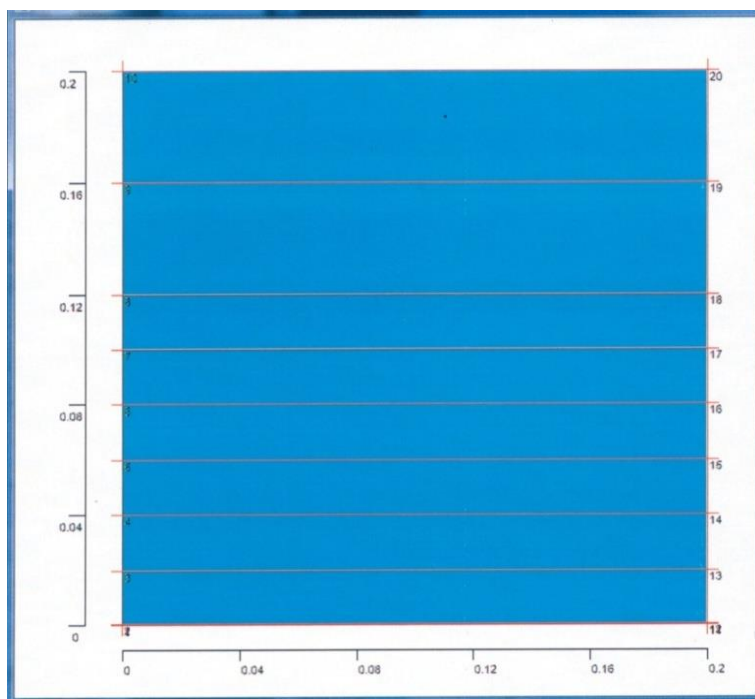
Sketch	Section factor $[A_m / V]_b$
	$\frac{2(b + h)}{\text{Steel cross-Section area}}$
	$\frac{2h + b}{\text{Steel cross-Section area}}$
	$\frac{\text{box perimeter}^*}{\text{Steel cross-Section area}}$

* The dotted line defines the box perimeter that corresponds to the smallest box surrounding the section (Franssen J-M, *et al.*, 2009)

Figur 9

Med förutsättningar enligt ovan har temperaturerna beräknats med TASEF för TRP plåtar med olika ytvikt och med en isolering på ovansida motsvarande 200 mm stenull med densitet ca 150 kg/m³.

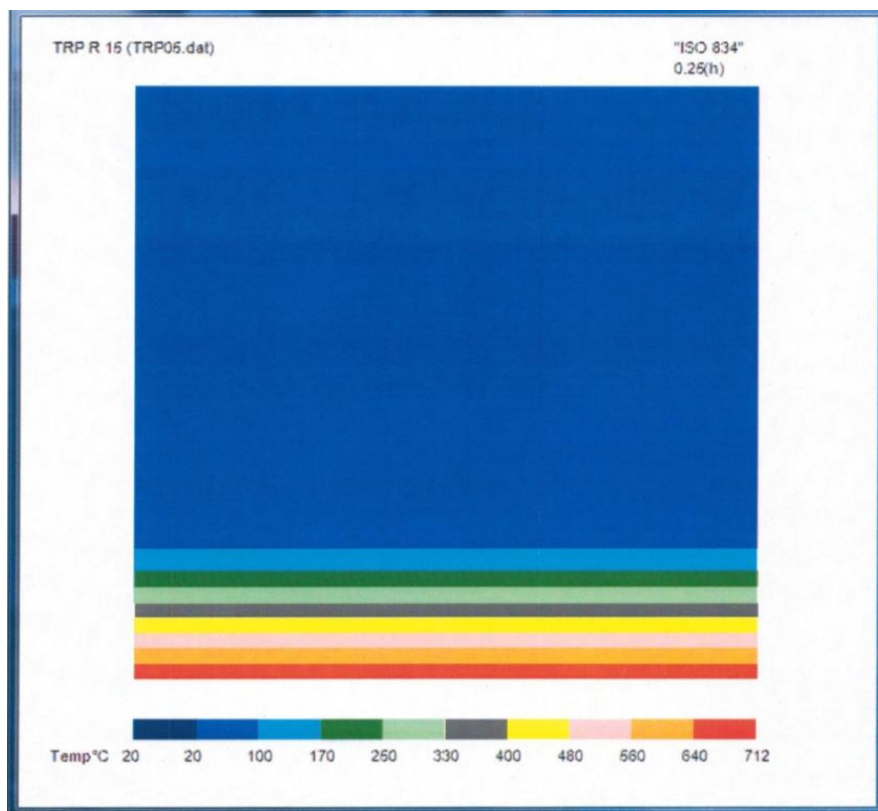
Vald nodindelning vid beräkningen framgår av figur 10.



Figur 10

En variation inom praktiskt rimliga gränser av isoleringstjockleken på ovansidan av TRP plåten saknar betydelse för plåttemperaturerna. Under den korta tiden 15 minuter hinner endast isoleringen närmast plåten "aktiveras". Se figur 11 som ger en

bild av temperaturfördelningen genom taket och dess isolering efter 15 minuters standardbrand.



Figur 11

Följande resultat kan utläsas ur TASEF utskrifterna beträffande beräknade plåttemperaturer efter 15 minuter (R 15) för nedanstående ytvikt på plåten.

Ytvikt (kg/m ²)	Plåttemperatur
4	708
8	705
12	702
20	695

3.3 Beräkning av bärförmågan

Enligt Eurocode 3 [4] gäller att effektiva sträckgränsen varierar med temperaturen enligt figur 12.

Stålteperatur θ_a	Reduktionsfaktorer vid temperaturen θ_a relativt värdet på f_y eller E_s vid 20°C		
	Reduktionsfaktor (relativ f_y) för effektiv sträck- gräns	Reduktionsfaktor (relativ f_y) för proportionalitets- gränsen	Reduktionsfaktor (relativ E_s) för lutningen inom det linjära elastiska området
	$\kappa_{f,0} = f_{y,0} / f_y$	$\kappa_{p,0} = f_{p,0} / f_y$	$\kappa_{E,0} = E_{s,0} / E_s$
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	0,050	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. För värden mellan temperaturgränserna får linjär interpolering användas.

Figur 12

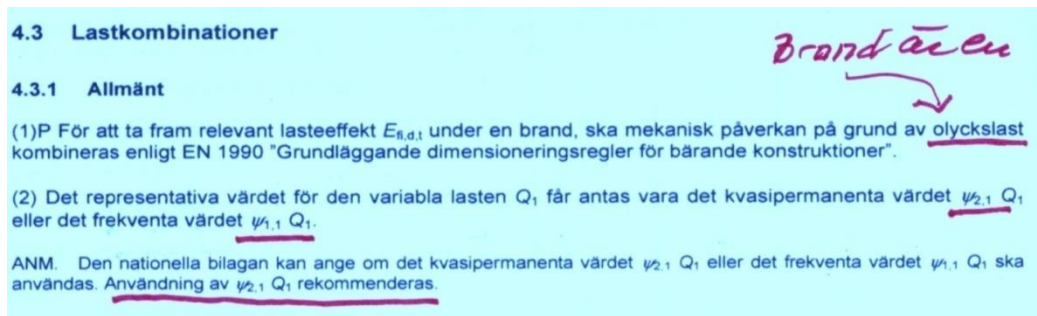
Med beräknade plåttemperaturer efter 15 minuters standardbrandpåverkan enligt avsnitt 3.2 som funktion av plåtvikten per m² kan effektiva sträckgränsen bestämmas enligt figur 12 och bärförmågan för plåten beräknas. Den på detta sätt beräknade bärförmågan ska vara större än aktuell belastning på plåten vid lastfallet brand.

Vid beräkning av lasten vid lastfallet brand ingår som parameter Ψ faktorn för olika belastningar enligt tabell figur 13. För t e x snölast är Ψ_2 faktorn 0.2.

Tabell NA.A1.1 – Verdier för Ψ -faktorer för byggnader			
Last	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Nyttelastkategorier i byggnader (se NS-EN 1991-1-1):			
Kategori A: bostäder	0,7	0,5	0,3
Kategori B: kontor	0,7	0,5	0,3
Kategori C: samlingslokaler, möterom	0,7	0,7	0,6
Kategori D: butiker	0,7	0,7	0,6
Kategori E: lager	1,0	0,9	0,8
Kategori F: trafik- och parkeringsarealer för små fordon (fordonsvikt ≤ 30kN och högst 8 setar utom försete)	0,7	0,7	0,6
Kategori G: trafik- och parkeringsarealer för mellanstore fordon, 30kN < fordonsvikt ≤ 160kN på to akslingar	0,7	0,5	0,3
Kategori H: tak	0	0	0
Snölast (se NS-EN 1991-1-3)	0,7 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0,2 ¹⁾
Vindlast (se NS-EN 1991-1-4)	0,6 ¹⁾	0,2 ¹⁾	0 ¹⁾
Temperatur (ikke brann) i byggnader (se NS-EN 1991-1-5)	0,6 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0 ¹⁾
¹⁾ Eventuell modifiering 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

Enligt utdrag från Eurokod 0[5] enligt figur 14 rekommenderas att just Ψ_2 värdet bör användas vid brandlastfallet.



Figur 14

Enligt tabell figur 15 är det också Ψ_2 som anges gälla i Norge med undantag av lastfall där vind är dominerande variabel last. Då gäller värdet Ψ_1 .

Tabell NA.A1.3 – Dimensjonerende verdier for laster for bruk i kombinasjoner med ulykkeslaster og seismiske laster

Dimensjonerende situasjon	Permanente laster		Dominerende ulykkeslast eller seismisk last	Øvrige variable laster ²⁾	
	Ugunstig	Gunstig		Hovedlast (hvis aktuelt)	Andre laster
Ulykkesituasjon ¹⁾ (Ligning 6.11a/b)	$G_{k,sup}$	$G_{k,inf}$	A_d	$\psi_{1,1}$ eller $\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$
Seismisk situasjon (Ligning 6.12a/b)	$G_{k,sup}$	$G_{k,inf}$	$\gamma_1 A_{Ek}$ eller A_{Ed}	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$	

¹⁾ Se også NS-EN 1991-1-2 for ulykkesituasjonen brann. Den representative verdien for den variable lasten Q_i 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.

²⁾ Variable laster er de som er oppført i tabell NA1.1.

Figur 15

Med forutsetninger enligt ovan beräknas aktuella laster dels vid brottlast-dimensionering dels vid lastfallet brand för olika lastkombinationer.

a) Lastfallet enbart snölast som variabel last.

Vid brottlastdimensionering gäller följande last på ett snöbelastat tak av TRP plåt om endast snölast förekommer.

$$Q_{\text{brtott}} = 1.2 \times Q_{\text{eg}} + 1.5 \times \mu \times Q_{\text{snö}}$$

där

Q_{eg} = takets egenvikt

μ = faktor beroende på taklutning mm

$Q_{\text{snö}}$ = karakteristisk snölast

Vid lastfallet brand gäller följande

$$Q_{\text{brand}} = 1.0 \times Q_{\text{eg}} + 1.0 \times \Psi_2 \times \mu \times Q_{\text{snö}}$$

Detta innebär då att den karakteristiska snölasten ska multipliceras med faktorn 0.2 vid lastfallet brand (se figur 13).

Ovanstående ger följande relation X mellan dimensionerande laster vid brandlastfallet respektive brottlastfallet.

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

Förhållandet X redovisas grafiskt i figur 16 som funktion av takets egenvikt Q_{eg} i förhållande till snölasten $\mu \times Q_{snö}$

b) Lastfallet egenvikt + snö + vind (snö huvudlast)

Vid brottlastdimensionering gäller följande

$$Q_{brtott} = 1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times \mu \times Q_{snö} + 1.5 \times \Psi_0 \times Q_{vind}$$

där

Q_{vind} = karakteristisk vindlast

$$\Psi_0 \text{ (vind)} = 0.6 \text{ (se figur 13)}$$

Vid lastfallet brand gäller följande

$$Q_{brand} = 1.0 \times Q_{eg} + 1.0 \times 0.2 \times \mu \times Q_{snö} + 1.0 \times \Psi_2 \times Q_{vind}$$

där

$$\Psi_2 \text{ (vind)} = 0 \text{ (se figur 13)}$$

Ovanstående ger följande relation X mellan dimensionerande laster vid brandlastfallet respektive brottlastfallet vid variabel last i form av både snö och vind och med snö som huvudlast.

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

Genom jämförelse med lastfall a) kan konstateras att lastfall b) innebär lägre värden på relationstalet X. Täljaren är lika i de båda fallen medan nämnaren innehåller ytterligare en faktor.

c) Lastfallet egenvikt + vind + snö (vind huvudlast)

Vid brottlastdimensionering gäller följande

$$Q_{brtott} = 1.2 \times Q_{eg} + 1.5 \times Q_{vind} + 1.5 \times \Psi_0 \times \mu \times Q_{snö}$$

där

Q_{vind} = karakteristisk vindlast

$$\Psi_0 \text{ (snö)} = 0.7 \text{ (se figur 13)}$$

Vid lastfallet brand gæller følgende

$$Q_{\text{brand}} = 1.0 \times Q_{\text{eg}} + 1.0 \times \Psi_1 \times Q_{\text{vind}} + 1.0 \times \Psi_2 \times \mu \times Q_{\text{snø}}$$

dær

$$\Psi_1 (\text{vind}) = 0.2 \text{ (se figur 13)}$$

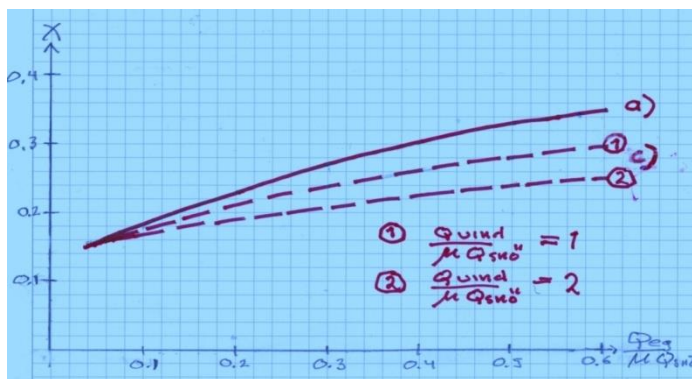
$$\Psi_2 (\text{snø}) = 0.2 \text{ (se figur 13)}$$

Ovanstående ger følgende relation X mellan dimensionerande laster vid brandlast-fallet respektive brottlastfallet vid variabel last i form av både snø och vind och med vind som huvudlast.

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

I figur 16 finns detta samband redovisat som funktion av förhållandet mellan egen-vikt och snølast dels for förhållandet $Q_{\text{vind}} / \mu \times Q_{\text{snø}} = 1$ respektive $Q_{\text{vind}} / \mu \times Q_{\text{snø}} = 2$

Som framgår av figuren är alltid lastfallet a) dimensionerande d v s den variabla lasten utgörs enbart av snølast. Lastkombinationer med både snølast och vindlast ger lägre värde på förhållandet X mellan lastfallet brand och lasten vid brottlast-dimensionering.



Figur 16

Utnyttjandegraden vid lastfallet brand U kan skrivas.

$$U = X \alpha$$

dær

α = utnyttjandegraden vid brottlastdimensionering.

Om egenvikten t_e x utgör 30 % av snølasten ($\mu \times Q_{\text{snø}}$) och utnyttjandegraden vid brottlastdimensioneringen är 90 % blir utnyttjandegraden vid lastfallet brand $U = 0.27 \times 0.90 = 0.24$

Enligt figur 12 innebär detta att plåttemperaturen kan tillåtas gå upp till knappt 700 grader. Vid 700 grader utgör nämligen den effektiva sträckgränsen 0.23 av ursprunglig sträckgräns vid rumstemperatur och brottlastdimensionering.

De beräknade resultaten enligt ovan styrks bl. a. av utfört brandprov på tak med TRP plåt.[6]

TRP plåten hade en profilhöjd av 130 mm, en godstjocklek på 0.7 mm samt en vikt på 8.9 kg/m². På ovansidan fanns värmeisolering av stenull (Paroc) med en sammanlagd tjocklek på ca 250 mm.

Materialkvalitet hos plåten motsvarade S350. Spännvidden var 4.0 m och lasten motsvarande en snölast av 0.9 kN/m². Detta innebär en utnyttjandegrad av plåten vid brandförsöket på ca 22 %. Bedömd brandmotståndstid vid försöket var 21 minuter, d v s konstruktionen uppfyllde brandteknisk klass R 15 med marginal utan membranverkan.

Paroc har också utfört motsvarande brandförsök med samma tak skyddat mot brand på undersidan med 50 mm Paroc FPS 17. [7] Försöket visade att brandteknisk klass R 60 uppfylldes med god marginal.

Med detta prov som grund har dimensioneringsunderlag tagits fram från vilket man kan bestämma vilken isolertjocklek av Paroc FPS 17 på plåtens undersida som krävs för att brandteknisk klass R 30, R 60, R 90 etc ska uppfyllas beroende på TRP plåtens utnyttjandegrad mm vid lastfallet brand.[8].

Även i detta fall bärs lasten på samma sätt som vid brottlastdimensionering, d v s utan att membranverkan behöver aktiveras med de praktiska komplikationer detta kan medföra.

4 Sammanfattande resultat

För att förenkla den praktiska dimensioneringen att uppfylla R 15 enligt gällande Norska bestämmelser vad gäller laster mm, kan de generella resultaten enligt ovan tillämpas med följande förutsättningar.

Plåttjocklek

Plåttjocklek antas vara minst 0.70 mm. Detta motsvarar en ytvikt av plåten på ca. 9 kg/m². Beräknad plåttemperatur enligt avsnitt 3.2 kan då på säkra sidan antas vara 705 grader efter 15 minuters standardbrandpåverkan (R 15). Detta i sin tur ger en möjlig utnyttjandegrad vid lastfallet brand på 0.22. Se figur 12.

Egenvikt

Takets totala egenvikt inklusive isolering, taktäckning mm antas vara 0.4 kN/m². Enda parameter kommer då att vara aktuell snölast och utnyttjandegraden vid brottlastdimensioneringen. Detta illustreras i tabellen nedan. Där anges tillåten utnyttjandegrad vid brottlastdimensionering och vid olika snölaster för att utnyttjandegraden vid lastfallet brand ska bli högst 0.22.

Snölast	Tillåten utnyttjandegrad vid brottlastdimensionering.	Utnyttjandegrad vid brandlastfallet
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

Ovanstående innebär att för en dimensionerande snölast på 2.4 kN/m² eller högre blir utnyttjandegraden vid brandlastfallet 0.22 eller lägre även om plåten är utnyttjad till 100 % vid brottlastdimensioneringen. Brandlastfallet är då således inte dimensionerande. Först vid lägre dimensionerande snölast än 2.4 kN/m² måste utnyttjandegraden vid brottlastdimensionering reduceras enligt tabellen för att utnyttjandegraden vid brandlastfallet inte ska bli högre än 0.22.

Nedan ges också dimensioneringsunderlag från vilket man kan bestämma erforderlig isolertjocklek av Paroc FPS 17 på plåtens undersida för att brandteknisk klass R 30, R 60, R 90 etc ska uppfyllas beroende på TRP plåtens utnyttjandegrad mm vid lastfallet brand och utan att membranverkan utnyttjas [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

$$U = \frac{M_{\text{Brott}} \times Q_{\text{Brand}}}{M_D \times Q_{\text{Brott}}}$$

M_D = Aktuell TRP profils momentkapacitet (kNm)

M_{Brott} = Dimensionerande moment vid brottlastdimensionering (kNm)

Q_{Brand} = Dimensionerande last vid lastfallet brand (kN/m²)

Q_{Brott} = Dimensionerande last vid brottlastdimensionering (kN/m²)

Exempel

Tak av TRP plåt i Norge inom snözon 2.0 kN/m²

Egenvekt tak = 0.4 kN/m²

Krav på brandteknisk klass R 60

$$Q_{\text{Brott}} = 1.2 \times 0.4 + 1.5 \times 0.8 \times 2.0 = 2.88 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{Brand}} = 1.0 \times 0.4 + 1.0 \times 0.2 \times 0.8 \times 2.0 = 0.72 \text{ kN/m}^2$$

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

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

$$U = \frac{24 \times 0.72}{25 \times 2.88} = 0.24$$

Erforderlig isolertjocklek enligt tabellen är 40 mm

Att uppfylla en viss brandteknisk klass enligt ovan, t e x R 15, R 30 eller R 60 utan att utnyttja membranverkan innebär att några speciella krav på infästningarna utöver de som gäller vid vanlig dimensionering inte ställs. Tak dimensionerade för skivverkan vid brottlastdimensioneringen kan förutsättas fungera med skivverkan även vid brandlastfallet. Lösningarna blir därmed betydligt enklare än lösningar där membranverkan utnyttjas för att uppfylla en viss brandteknisk klass.

5 Referenser

- [1] Rapport STF22 F99848 , Per Arne Hansen och Tore Holmsås, SINTEF Bygg og miljøteknikk, daterad 1999-10-01
- [2] Rapport MT70 F02-169 (Marintek), Ernst Edberg fra Byggcob AS, daterad 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.