BRANDFORSK
2017:5

# Gröna tak
## - Ur brandteknisk synvinkel

Alexander Elias, Emelie Gunnarsson, Daniel Håkansson, Robert Jansson McNamee, Jennie Lövgren-Forslund, Axel Mossberg

Brandforsk

## Projektets referensgrupp

Anders Johansson, Boverket
Bengt-Erik Karlberg, Vegtech AB
Evelina Edström, Storstockholms Brandförsvar
Johan Andersson, RISE
Lisa Björk, Brandskyddsföreningen
Patrick van Hees, Lunds Tekniska Högskola
Sofia Svensson, Fastighetskontoret Stockholms stad
Stephanie Karlsson, ÅF
Stefan Thorstensson, St. Eriks försäkring

Rapport nummer BSL 2017:02
**BRANDFORSK 2017:5**

Fotot på framsidan av rapporten är taget av Simo Räsänen (Wikimedia commons).

# Förord

Denna rapport är skriven med finansiering från Brandforsk (projekt 700-161). Syftet med rapporten är att ge en överblick över kunskapsläget kring bränder och brandskydd i gröna tak samt att ge ett förslag till hur konsekvensen kan beräknas vid denna typ av bränder.

Under arbetets gång har många personer involverats, vissa genom formella frågor och andra genom informella diskussioner. Till alla er som tagit er tid att diskutera frågan riktas ett tack för er tid. Ett stort tack riktas även till referensgruppen för projektet som under arbetets gång bidragit med värdefulla kommentarer och givande diskussioner. Referensgruppen bestod av följande personer:

Anders Johansson, Boverket

Bengt-Erik Karlberg, Vegtech AB

Evelina Edström, Storstockholms Brandförsvar

Johan Anderson, RISE

Lisa Björk, Brandskyddsföreningen

Marcus Runefors, Lunds Tekniska Högskola

Mattias Delin, Brandforsk

Patrick van Hees, Lunds Tekniska Högskola

Sofia Svensson, Fastighetskontoret Stockholms stad

Stephanie Karlsson, ÅF

Stefan Thorstensson, St. Eriks försäkring

Fotot på framsidan av rapporten är taget av Simo Räsänen (Wikimedia commons).

# Sammanfattning

Gröna taktäckningsalternativ är något som ökat i popularitet inom byggbranschen under de senaste åren och efterfrågan på gröna tak är ständigt växande. De gröna taken innebär flera fördelar ur miljösynpunkt och ger därför höga poäng i de flesta miljöklassningssystem som många byggprojekt numera använder sig av.

Ur brandskyddssynpunkt innebär däremot gröna tak i många fall en problematik, då många önskvärda typer inte uppfyller kraven i den testmetod som anges enligt Boverkets Byggregler. Om ett tak inte uppfyller de förenklade kraven så kan så kallad analytisk dimensionering tillämpas för att visa att brandskyddet ändå uppfyller den kravnivå som anges i byggreglernas funktionskrav. För att kunna utföra en sådan dimensionering behövs dock viss kunskap om materialet och dess egenskaper vid brand.

I denna rapport redovisas en litteraturstudie där följande delar studerats:

- Regelverk och standarder i Sverige och i andra länder.
- Provningsmetoder för tak.
- Utförd forskning kring gröna tak och bränder.
- Beräkningsmodeller som skulle kunna tillämpas för bränder i gröna tak.

Utifrån litteraturstudien kan slutsatserna dras att bränder och brandskydd i gröna tak är ett relativt outforskat område. Det finns en rad standarder i andra länder som behandlar skyddsåtgärder för att motverka omfattande bränder i denna typ av tak, men det verkar som att alla dessa är baserade eller inspirerade av ett och samma grunddokument. Ingen utförd forskning har kunnat identifierats som bas till de rekommendationer som ges.

Utförda försök kopplade till denna litteraturstudie visar att gröna taktäckningar sannolikt är relativt svårantändliga under stora delar av året. Dock är de sannolikt lättare att antända under andra delar av året. Det kan även konstateras att det finns åtgärder som kan vidtas för att en brand i ett grönt tak inte ska bli omfattande samt för att motverka brandspridning till eller från taket.

I rapporten redogörs även för en möjlig beräkningsgång som skulle kunna tillämpas för att uppskatta konsekvensen vid en brand i ett grönt tak. Ett exempel där denna beräkningsgång tillämpats redovisas också.

# Innehållsförteckning

**SAMMANFATTNING** ..... **3**
**FÖRORD** ..... **3**
**1. INLEDNING** ..... **6**
1.1 Rapportstruktur ..... 6
1.2 Syfte och mål ..... 6
1.3 Begrepp ..... 7
**2. BAKGRUND** ..... **7**
**3. PROBLEMFORMULERING** ..... **8**
**4. LITTERATURSTUDIE** ..... **10**
4.1 Regelverk och standarder kring gröna tak och brandskydd ..... 10
4.2 Provningsmetoder aktuella för gröna tak ..... 19
4.3 Utförd forskning kopplad till gröna tak och brandskydd ..... 22
4.4 Hur sker spridning i ett grönt tak och finns risk för spridning till intilliggande takytor? 23
4.5 Beräkningsmodeller ..... 35
**5. SLUTSATSER FRÅN LITTERATURSTUDIE OCH GENOMFÖRDA FÖRSÖK** ..... **37**
**6. SLUTSATS** ..... **38**
6.1 Förslag till metod för att beräkna konsekvensen av brand i gröna tak ..... 38
**7. FÖRSLAG PÅ VIDARE ARBETEN** ..... **41**
**REFERENSER** ..... **42**
**BILAGA 1-BERÄKNINGSEXEMPEL** ..... **45**

# 1. Inledning

Gröna taktäckningsalternativ är något som ökat i popularitet inom byggbranschen under de senaste åren och efterfrågan på gröna tak är ständigt växande. Brandskyddslaget har i flera projekt blivit uppmärksammade på det stora intresset för gröna tak och behovet av kunskap kring dessa genom frågor från arkitekter och projektledare. De gröna taken innebär flera fördelar ur miljösynpunkt och ger därför höga poäng i de flesta miljöklassningssystem som många byggprojekt numera använder sig av.

I och med att de består av växtlighet, organiskt material, leder det till att gröna tak är brännbara, vilket innebär att endast begränsat utrymme för sådana lösningar finns i de förenklade reglerna enligt Boverkets Byggregler (BBR). Det finns gröna taklösningar som uppfyller de förenklade krav som ställs men dessa är vanligtvis utformade med låg växtlighet vilket allt mer sällan är det som önskas inom projekten.

I och med att kraven i BBR är funktionsbaserade så finns det möjlighet att med analytisk dimensionering avvika från de allmänna råden om det kan uppvisas att funktionskravet (föreskriften) uppfylls. För taktäckning ges dock ingen tydlig referensnivå för hur funktionskravet uppfylls på annat än det allmänna rådet, det vill säga den förenklade lösningen. Eventuella avvikelser från de allmänna råden (så kallad analytisk dimensionering) baseras därför i dagsläget på subjektiva bedömningar om huruvida funktionskravet uppfylls. Detta kan medföra att olika konsulter gör olika bedömningar, vilket leder till osäkerheter i tillämpningen.

Efterfrågan på svar och riktlinjer avseende brandskydd och gröna tak är med grund i ovanstående väldigt stor. För att öka kunskapen inom området har Brandskyddslaget därför initierat detta forskningsprojekt med stöd av forskningsanslag från Brandforsk.

En inledande litteraturstudie genomfördes sommaren 2016 av Brandskyddslaget, vilken indikerade att det idag saknas en hel del regelverk, riktlinjer och kunskap inom området gröna tak och brand i Sverige. Dock visar studien att andra länder redan har metoder för att hantera riskerna med denna typ av konstruktioner.

## 1.1 Rapportstruktur

I rapporten redovisas först en bakgrund (kapitel 2), där övergripande information kring gröna tak och dess funktioner ges. Efter detta så beskrivs den brandskyddsproblematik som gröna tak medför i förhållande till BBR (kapitel 3).

I kapitel 4 redovisas sedan den litteraturstudie som genomförts. Här redovisas regelverk, standarder och provningsmetoder som är kopplade till gröna tak i Sverige och i andra länder. Utöver detta redovisas även forskningsstudier som genomförts på området samt olika beräkningsmodeller för att beskriva den potentiella brandspridningen på gröna tak.

Med grund i ovanstående ges sedan rekommendationer i kapitel 5, kring hur gröna tak kan behandlas brandskyddstekniskt baserat på det material som presenterats tidigare i rapporten. Detta följs av rekommendationer för vidare forskning i kapitel 6.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med detta projekt är att öka kunskapsnivån kring brandskydd i gröna tak genom en litteraturstudie kombinerat med vissa genomförda brandtester.

Målet med projektet är att redovisa den kunskap som finns på ämnet samt att ta fram rekommendationer kring hur bränder och risk för brandspridning i gröna tak skulle kunna bedömas ur brandteknisk synvinkel.

## 1.3 Begrepp

I nedanstående stycke behandlas begreppen *taktäckning* och *grönt tak* och definitioner som nyttjas vidare i rapporten tydliggörs.

### 1.3.1 Taktäckning

Ett av de centrala begreppen i denna rapport är taktäckning. Det finns dock ett visst tolkningsutrymme kring vad som räknas som taktäckning och vart denna börjar och slutar. I nu gällande BBR finns ingen tydlig definition av vilka byggnadsdelar som innefattas av begreppet taktäckning, varför viss diskrepans mellan tolkningar kan uppstå.

Enligt TNC 95 [1] definieras begreppet som *"beklädnad på yttertak till skydd mot yttre klimat"*. Denna definition kan man tolka som att alla ingående komponenter ner till den sista som bidrar till byggnadens skydd mot omgivande klimat ingår i begreppet taktäckning. Som alternativ kan man tolka definitionen som att den yttersta beklädnaden på yttertaket är det enda som ska räknas som taktäckning.

Som följd av detta uppstår även frågan kring vad som i sådana fall, med tanke på ovanstående, räknas till underlaget på vilken taktäckningen ligger.

Dessa tolkningsmöjligheter skapar oklarheter i projektering av brandskydd och val av erforderlig brandklass på taktäckningen, då kravställningen varierar beroende på taktäckningens underlag.

Applicerat på ett grönt tak skulle detta innebära att alla ingående skikt, ner till och med tätskiktet räknas till taktäckningen, men endast om alla dessa skikt kan påvisas vara av betydelse för skyddet mot yttre klimat. Som alternativ kan begreppet tolkas på så vis att enbart vegetationen är att beakta som taktäckning.

Det finns alltså till synes ingen klarhet i hur man definierar begreppet taktäckning, och vilka komponenter som ska räknas till denna. I denna rapport väljs därför att betrakta taktäckning som det yttersta skiktet, dvs. vegetationen. Detta då det främst är denna del av takets utformning som mest avviker från mer traditionella takkonstruktioner.

### 1.3.2 Definition av grönt tak

Det finns många olika definitioner av vad ett grönt tak är, och vad en taktäckning ska uppfylla för krav för att kunna kategoriseras som ett sådant. Inom denna kategori skulle man kunna placera in allt från växtlighet på takterrasser till tak helt täckta av en levande organisk taktäckning. I litteraturstudien inkluderas inte takterrasser och liknande utan huvudfokus är olika typer av organiskt levande taktäckningar.

Även den organiskt levande taktäckningen kan variera kraftigt och det finns idag stora skillnader. Växtlighet varierar mellan kortväxande sedumtak, till längre växande örtsedum och så kallade biotoptak, där tanken är att växtlighet ska leva mer fritt. I denna rapport berörs olika sorters gröna tak, men vissa delar inriktar sig mot speciella typer av sådana. Exempelvis fokuserade det exjobb som innehöll brandtester på örtsedum och slutsatserna från dessa tester kan inte direkt extrapoleras till andra gröna taktäckningar.

# 2. Bakgrund

Nedan följer en kort bakgrund kring gröna tak. En mer utförlig bakgrund och beskrivning finns i det exjobb som upprättats inom projektet [2].

Gröna tak kan delas upp i tre olika typer; intensiva, semi intensiva samt extensiva gröna tak. Uppdelningen avgörs genom hur taktäckningen ska brukas (ex. möjligt att beträda eller ej), syftet (ex. minska eller fördröja vattenflödet i dagvattenledningar vid nederbörd) och förekommande växttyper. Det som skiljer de tre typerna av gröna tak åt är i första hand tjockleken på växtsubstratslagret och typen av vegetation. Extensiva tak har typiskt ett tunnare lager substrat (2-15 cm) och täcks i de flesta fall av lågväxande växtarter, men gräs och olika typer av örter kan också förekomma. Semiintensiva tak har ett något djupare substratlager (10-20 cm), här återfinns en något mer varierande växtlighet från lågväxande växter och gräs till mindre buskar. Den sista kategorin, de intensiva taken, har ett relativt djupt substratlager (15 cm och uppåt) och här finns inte några begränsningar vad gäller växttyper mer än de som jordmånens djup för med sig [3].

Idag finns ett antal olika produkter på marknaden med viss skillnad i uppbyggnad men i stort kan ett grönt taks uppbyggnad sammanfattas enligt följande (från bjälklag och uppåt):

Ovanpå bjälklaget ligger ett tätskikt och därefter följer ett rotskyddsskikt som har en skyddande funktion mot mekanisk åverkan på tätskiktet. Ovanpå detta följer i tur och ordning, ett dränerande skikt, ett vattenmagasinerande skikt, jordsubstrat och sist vegetation bestående av olika sorters sedum, gräs och örter [4].

Anledningen till att gröna tak blir vanligare är delvis arkitektoniska men de bidrar även med miljö- och energimässiga fördelar i en byggnad. Exempel på dessa är:

- Isolerande verkan för inomhusmiljön [5]
- Förbättrad dagvattenhantering [6]
- Filtrering av föroreningar vid upptag av regnvatten [7]
- Reduktion av luftföroreningar [8]
- Främjar den biologiska mångfalden [9]
- Bullerdämpande [10]
- Förlängd livslängd på tätskikt [11]

Ett ytterligare incitament till användandet av gröna tak är att det idag finns certifieringsorgan som certifierar fastigheter med avseende på deras klimatpåverkan. Några av de internationellt erkända certifieringssystemen är LEED, BREEAM och Green star. Det finns gröna tak som uppfyller de lösningar som föreslås i de allmänna råden i BBR men för att uppnå de högsta nivåerna inom dessa certifieringssystem krävs ofta typer av gröna tak som inte uppfyller råden. Det finns ofta även arkitektoniska intressen av att ha gröna tak som inte uppfyller lösningarna i de allmänna råden. Detta då dessa typer av tak erbjuder mer varierad växtlighet än de klassade.

# 3. Problemformulering

Brandskyddstekniska krav på taktäckning behandlas i föreskrift 5:62 i BBR (Boverkets Byggregler) och anger:

*Taktäckning på byggnader ska utformas så att antändning försvåras, brandspridning begränsas samt att den endast kan ge ett begränsat bidrag till branden.*

I allmänt råd till ovanstående föreskrift anges att:

*Med försvårad antändning avses exempelvis skydd mot flygbränder eller gnistor. Taktäckning bör utformas med material av klass A2-s1,d0 alternativt med material av lägst klass $B_{ROOF}$ (t2) på underliggande material av klass A2-s1,d0. Brännbar taktäckning, i lägst klass $B_{ROOF}$ (t2), kan användas på brännbart underlag på byggnader som är belägna minst 8 m från varandra eller på småhus. Brännbar taktäckning på brännbart underlag bör inte förekomma på byggnader, förutom småhus, inom 8 m från en skorsten ansluten till värmepanna med förbränning av fasta bränslen. På småhus kan material av lägst klass E användas som taktäckning på tak över uteplats, skärmtak eller liknande. Regler om skydd mot brandspridning från intilliggande tak finns i avsnitt 5:536 och detta gäller även mellan byggnader. (BFS 2011:26).*

Av rådet framgår att brännbar taktäckning, vilket grönt tak räknas till, endast får användas på obrännbart underlag av klass A2-s1,d0, alternativt på brännbart underlag om avståndet mellan byggnader är över 8 meter. Detta gäller dock enbart brännbar taktäckning som klarar av brandprovning enligt test ENV 1187 test 2 (gällande i Sverige) och därmed är klassad enligt materialklassen $B_{ROOF}$(t2).

Idag finns få gröna tak tillgängliga på marknaden som är brandklassade enligt $B_{ROOF}$(t2) och dessa utgörs i huvudsak utav produkter med lägre växtlighetstyper. Flertalet av de gröna taktäckningar som är önskvärda uppfyller dock inte den kravnivå som anges i det allmänna rådet. I dessa fall finns möjligheten att göra en avvikelse från allmänt råd men denna måste då verifieras genom en utredning som visar att funktionskravet uppfylls.

I och med att det inte finns någon kvantifierbar acceptansnivå som tydligt anger när funktionskravet kan betraktas vara uppfyllt så blir acceptansnivån antingen en subjektiv bedömning eller satt till referensnivån som anges i det allmänna rådet. Detta innebär i sin tur att gröna tak med högre växtlighet endast kan accepteras via en subjektiv bedömning eftersom att $B_{ROOF}$(t2) inte uppfylls. En subjektiv bedömning innebär dock att olika bedömningar kan göras beroende på vem som dimensionerar brandskyddet, vilket har till följd att skyddsnivån kan variera från projekt till projekt.

För att undvika subjektiva bedömningar utan att helt förbjuda oklassade gröna taktäckningar skulle en analys dock kunna visa på en nivå där det anses att funktionskravet uppfylls tillfredsställande. För att undvika subjektiviteten bör dock denna nivå då anammas antingen genom standardisering eller inom regelverket genom en samstämmig tolkning av kraven för att det ska finnas tillfredsställande tydlighet kring acceptabla utformningar.

För att ta ett första steg mot en sådan utformning är det litteraturstudiens mål att besvara följande frågeställningar:

- Hur hanteras brandfrågor kring gröna tak idag i Sverige och i andra länder?
- Finns det standarder för hantering av gröna tak i andra länder?
- Finns det problem med gällande provningsmetod och finns mer lämpade provningsmetoder än de som är gällande idag?
- Finns förutsättningar för att kunna acceptera gröna tak som inte uppfyller $B_{roof}$(t2) i Sverige?
- Finns tidigare forskning kring brandrisker med gröna tak eller som kan kopplas till den aktuella problematiken?
- Hur sker spridning av flygbränder och finns åtgärder som kan begränsa riskerna kopplade till detta?
- Finns bedömningar eller beräkningsmodeller som är tillämpbara för den aktuella problematiken?

# 4. Litteraturstudie

Nedan presenteras den litteraturstudie som genomförts inom projektet.

## 4.1 Regelverk och standarder kring gröna tak och brandskydd

Gröna tak hanteras på olika sätt i olika länder. I stort kan sägas att skillnaderna i regelverk och tillgänglig branschpraxis utgör konsekvenser av två faktorer i) hur länge man utvecklat och använt gröna tak på byggnader, samt ii) graden av detaljstyrning i landets regelverk för byggande och brandskydd.

Då aktuella gröna tak utgör en relativt ny byggnadsteknik i Sverige är det av intresse att studera hur det svenska regelverket hanterar frågor kring brandskydd och säkerhet förknippat med detta. Vidare kan vårt svenska synsätt jämföras med hur problematiken hanteras i länder där denna byggnadsteknik har utvecklats under en längre tid, och där den tillämpas mer fritt.

Med anledning av detta behandlas nedan följande frågeställningar:

- Hur hanteras gröna tak idag i Sverige och i andra länder?
- Finns det standarder för hantering av gröna tak i andra länder?
- Finns utformningar av gröna tak som kan accepteras i Sverige?

### 4.1.1 Sverige

I Sverige är det Boverkets byggregler som reglerar kraven på taktäckning av byggnader. Detta regelverk är funktionsbaserat, vilket innebär att kraven baseras på ett funktionskrav (föreskrift) med tillhörande förslag på detaljlösning (allmänt råd). Funktionskravet måste alltid uppfyllas men detaljlösningen kan vara annan än den som anges, förutsatt att det kan visas att funktionskravet fortfarande uppfylls.

Som nämnt i kapitel 3 ovan så är de relevanta kravställningarna i BBR följande:

***Föreskrift (funktionskrav):***
*Taktäckningen på byggnader ska utformas så att antändning försvåras, brandspridning begränsas samt att den endast kan ge ett begränsat bidrag till branden.*

***Allmänt råd:***
*Med försvårad antändning avses exempelvis skydd mot flygbränder eller gnistor.*

*Taktäckning bör utformas med material av klass A2-s1,d0 alternativt med material av lägst klass $B_{ROOF}$(t2) på underliggande material av klass A2-s1,d0.*

*Brännbar taktäckning, i lägst klass $B_{ROOF}$(t2), kan användas på brännbart underlag på byggnader som är belägna minst 8 meter från varandra eller på småhus.*

*Brännbar taktäckning på brännbart underlag bör inte förekomma på byggnader, förutom småhus, inom 8 meter från en skorsten ansluten till värmepanna med förbränning av fasta bränslen.*

*På småhus kan material av lägst klass E användas som taktäckning på tak över uteplats, skärmtak eller liknande. Detsamma gäller i verksamhetsklasserna 1 och 2A för tältbyggnader med ett enkelt skikt dukmaterial.*

Dessa kravställningar ligger under avsnitt 5:6 i BBR, vilket berör skydd mot brandspridning mellan byggnader. Detta förklarar exempelvis varför inte brandspridning in i byggnaden tas upp som del av funktionskravet.

Historiken bakom detta krav är lång och grundkravet infördes redan 1947 i då gällande byggnadsstadga [12]. Detta krav var dock mindre preciserat än det nu gällande och hänvisade då inte till någon speciell provningsstandard. Detta ändrades i SBN 1967 [13] då kravet ställdes på att taktäckningen skulle uppfylla klass T, vilket motsvarar nu gällande $B_{ROOF}$ (t2). Dock angavs då inte de 8 meter som anges i dagens BBR utan underlagets klass bestämdes av om byggnaden låg inom eller utanför ”bostadsområde som inte har sluten kvartersbebyggelse”. Detta ändrades i SBN 75 [14] till ”byggnader inom ett bostadsområde utanför koncentrerad centrumbebyggelse” och sedermera ändrades även detta till de nu gällande 8 meter i och med övergången till BBR 19 [15].

I arbetet med Brandkonsultföreningens *Syfteshandbok*[1] har intervjuer utförts med ett antal brandskyddskonsulter, räddningstjänstpersonal samt representanter för relevanta myndigheter kring syftet med denna regel. Intervjupersonernas svar indikerar att kravet på taktäckning primärt har som syfte att förhindra att brand sprider sig mellan byggnaders tak och skapar en omfattande stadsbrand eller liknande.

I Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BBRAD) anges följande för skydd mot brandspridning mellan byggnader:

***5.1 Analysmodell***

***Allmänt råd***
*Begränsning av risken för brandspridning mellan byggnader kan exempelvis åstadkommas genom att*

- byggnader uppförs på ett tillräckligt avstånd från varandra,
- oskyddade byggnadsdelars storlek begränsas,
- brandbenägenheten hos exponerade ytor begränsas eller
- brandens omfattning begränsas genom brandtekniska installationer såsom automatiskt släcksystem.

*Vid analys av brandspridning mellan byggnader bör de maximala strålningsnivåerna på den exponerade byggnaden inte vara högre än godtagbar nivå för samtliga aktuella scenarier.*

***5.2 Erfordrade brandscenarier***

***Allmänt råd***
*Erfordrade brandscenarier bör identifieras och motiveras så att de utgör en trolig värsta påfrestning för byggnadens brandskydd. Hänsyn bör tas till storlek på brandceller, öppningar och placering av angränsande byggnader. Avgiven strålning bör beräknas för fullständigt brandförlopp i den brandcell som innebär störst risk för spridning av brand till närliggande byggnad.*

Utöver detta anges även vilka strålningsnivåer som kan ansättas för oklassade fönster i olika verksamheter samt vilken påfrestning som accepteras mot intilliggande fasad.

[1] Ett initiativ från Brandkonsultföreningen med syfte att öka förståelsen för de olika brandskyddskraven i BBR genom att gå igenom historik, liknande krav i andra länder samt genom intervjuer med olika aktörer i branschen. Arbetet är i skrivande stund pågående och ej utgivet.

Det kan konstateras att ovanstående är mer anpassat för brandspridning mellan oklassade ytor i fasader, så som exempelvis fönster. Dock bör det finnas möjlighet att tillämpa rådet även vid analytisk dimensionering av takytor, förutsatt att rimliga brandscenarier kan identifieras och beräknas.

Frågan om hur gröna tak ska behandlas i förhållande till ovanstående krav har även ställts direkt till Boverket. I en fråga med diarienummer DNR 1597/2015-1 undras det över hur kraven förhåller sig till så kallade takträdgårdar. Fråga och svar återges nedan:

***Fråga till Boverket***
*Vad gäller för brandregler för gröna tak?*

*Normalt testar man sedumtak enligt $B_{roof}$(t2) men vad gäller när man har en trädgård på en takyta? Här är det inte möjligt att brandprova konstruktionen.*

*Vore intressant att få er syn på detta.*

***Svar från Boverket***
*Boverket har vad jag vet inte tagit ställning till detta tidigare. Anledningen är att det kan vara svårt att avgöra vad som är att betraktas som ett tak och när det övergår till att bli en innergård någon våning upp med rabatter, träd, grillplatser, lekredskap mm.*

*I det fallet behöver man först och främst fundera på utrymning av personer, men därefter även på tillgång till taket för räddningstjänsten med brandvatten och givetvis även risken för brandspridning på taket/innergården.*

*BBR 5:62 gäller då för hur brandspridning ska försvåras. Det vill säga antändning ska försvåras och brandspridning begränsas och material ska endast ge ett begränsat bidrag till branden. Testmetoden för klass Broof(t2) är utformad för att en mindre brand, typ en flygbrand inte ska ge kontinuerlig flamspridning längs taket. Även om det inte går att testa t.e.x en gungställning i den provningsmetoden bör man genom analytisk dimensionering välja material med motsvarande brandegenskaper.*

I en ytterligare fråga med diarienummer DNR 1789/2016 förtydligar Boverket att det inte finns några särskilda regler kopplade till gröna tak utan att funktionskravet i BBR ska uppfyllas. Fråga och svar återges nedan:

***Fråga till Boverket***
*Jag har en fråga om vilka brandskyddskrav, som man kan ställa på örtsedum som utgör takbeläggning. För att få ” gröna” poäng har det blivit ett allt vanligare taktäckningsmaterial. Brandskyddskonsulter tolkar frågan olika. Vad gäller ” vanlig” sedum finns det godkända sådana.*

*”Drabbas ” örtsedum, som kan ha mycket långa strån, överhuvudtaget av BBR är en annan fråga.*

***Svar från Boverket***
*Boverket har inga särskilda regler för så kallade gröna tak, vasstak eller liknande. Det gäller för dem liksom för alla andra typer av taktäckningar att uppnå funktionskravet för taktäckning i BBR 5:62. Det innebär att antändning ska försvåras, brandspridning längs taket begränsas samt att taktäckningen endast ger ett begränsat bidrag till branden. I det allmänna rådet preciseras med vad som avses med försvårad antändning genom att det ska finnas skydd mot flygbränder och gnistor. För att uppfylla det skyddet rekommenderas att takmaterial ska klara lägst den europeiska brandklassen $B_{ROOF}$(t2).*

*Boverket har skrivit om detta på våra sidor för frågor och svar på vår hemsida, se nedan:*

*http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/fragor--svar/?query=vasstak*

*Vilka brandkrav gäller för så kallade gröna tak samt vass- och halmtak?*

*För att begränsa brandspridning på taket finns det i Boverkets byggregler, BBR, avsnitt 5:62 krav på att taktäckning bör uppfylla minst brandteknisk klass $B_{ROOF}$(t2). Enklast gör man det med obrännbar taktäckning, men även brännbara tak kan användas.*

*En allt vanligare lösning är så kallade gröna tak där taket består av växtlighet. Det finns idag gröna tak, t.ex. sedumtak, som kan provas och klara brandteknisk klass $B_{ROOF}$(t2).*

*De flesta vass- och halmtak brinner däremot för snabbt för att klara brandtestet och kan normalt inte användas vid uppförande av nya byggnader i Sverige. Eftersom vi inte har några retroaktiva byggregler är det däremot inget som hindrar att man underhåller och lägger om sina befintliga vass- och halmtak.*

I enlighet med ovan så är det alltså uppfyllnad av $B_{ROOF}$(t2) som gäller för taktäckningar i Sverige. Med analytisk dimensionering kan man dock avvika från detta men då måste man visa analytiskt att taktäckningen är utformad så att antändning försvåras, brandspridning begränsas samt att den endast kan ge ett begränsat bidrag till branden.

### 4.1.2 Andra länder

Internationellt sett finns det många standarder och riktlinjer som är framtagna för att underlätta anläggningen av säkra gröna tak. Dessa är framtagna av nationella standardiseringsorganisationer, privata aktörer eller branschorganisationer. Däremot är det endast en minoritet av dessa dokument som belyser problematiken kring brandsäkerhet och än färre som anger riskreducerande åtgärder och skyddsavstånd.

Det land som i särklass utmärker sig mest i detta sammanhang är Tyskland som har väl utvecklade branschstandarder gällande anläggning av gröna tak. Detta grundar sig troligtvis i det faktum att traditionen och utvecklingen av byggnadstekniker för gröna tak har pågått under en längre tid i Tyskland än många andra länder. Enligt Breuning [16] har tester utförts kring brandspridning i gröna tak som ska ligga till grund för riktlinjerna som FLL tagit fram. Information kring de genomförda testerna har dock inte kunnat fås fram och därav inte granskats vid upprättande av denna rapport.

#### Sammanställning av standarder

I Tabell 1 redogörs för de brandrelaterade delarna i några av de standarder och riktlinjer för gröna tak som finns runtom i världen. Utförligare beskrivning av respektive standards och rekommendationer återfinns i nedanstående delkapitel.

*Tabell 1. Sammanställning över erhållna värden från standarder och riktlinjer, ”-” innebär att inga riktlinjer finns eller att de inte hittats.*

| | NS (Norge) | FLL (Tyskland) | GRO (Storbritannien) | FM Global (USA) | ANSI (USA) | Sverige |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sektionering | ≤40 m | ≤40 m | ≤40 m | ≤1450 m² | ≤1450 m² | - |
| Utformning av brandgata | 1 m bred alt. 0.3 m hög obrännbar barriär | 1 m bred/40 m alt. 0.3 m hög obrännbar barriär<br>Om väggar har syllar erfordras ett avstånd på 800 mm | 1 m bred/40 m vid större grönytor<br>Om väggar har syllar erfordras ett avstånd på 800 mm | Bredd 0.9 m | Bredd 1.8 m | - |
| Skyddsavstånd runt öppningar och vertikala element | 500 mm | 500 mm | 500 mm | 500 mm | 500 mm | - |
| Krav på bröstningshöjd | - | - | - | Ja | - | - |
| Jordsubstratets djup | - | Kräver 30 mm | Rekommenderar 80 mm | - | - | - |
| Rekommenderad andel organiskt material i växtssubstrat | ≤20 volym% | ≤65 g/l | ≤65 g/l | - | - | - |
| Brandpost/ Släckutrustning | - | - | - | - | Minst 1 st | - |
| Inspektioner och underhåll | Två gånger årligen | 2–4 gånger årligen | Minst två gånger årligen | Minst två gånger årligen | Minst två gånger årligen | - |
| Krav på brandklassificering av taktäckning | $B_{Roof}$ (t2) | $B_{Roof}$ (t1) | $B_{Roof}$ (t4) | Klass A eller Klass B | Klass A eller Klass B | $B_{Roof}$ (t2) |

Utifrån granskning av ovanstående standarder finns det generellt en otydlighet om undantag från kravet på brandklassificeringen av taktäckningen kan göras givet att man uppfyller standardens villkor för det gröna taket eller om det underliggande taktäckning ändå ska uppfylla grundkravet. I den norska standarden nämns det att om villkor enligt standard uppfylls så behöver ej tätskiktet uppfylla brandteknisk klass Broof(T2). GRO bedömer att ett intensivt grönt tak kan ses som ett konventionellt tak givet att det är bevattnat, underhålls och har tillräckligt substratdjup. Det uppfyller då deras regelverk BS 476-3: 1958 EXT FAA. I övrigt görs inga kommentarer eller förtydliganden kring vad som gäller.

De standarder och riktlinjer som undersökts i denna rapport är inte antagna som en del av något lands regelverk och tillämpningsgraden i respektive land är därför oklar och har ej undersökts närmre.

## NS

Standard Norge är en privat medlemsorganisation som utvecklar och fastställer riktlinjer i Norge. De är medlemmar i både den europeiska standardiseringsorganisationen CEN samt den internationella motsvarigheten ISO. NS 3840:2015 är den norska standarden för gröna tak där medlemmarna utarbetat riktlinjer för hur norska aktörer bör förhålla sig vid implementering av gröna tak på fastigheter. Rekommendationer i urval enligt NS 3840:2015 gällande brandskydd sammanfattas nedan.

Vegetation ska ersättas med vegetationsfria zoner på minst 0,5 m som en brandskyddande åtgärd där brännbara byggnadsdelar, brandsektioneringsväggar, genomföringar eller öppningar i tak samt där rökluckor och takfönster befinner sig. De specificerar även att de vegetationsfria zonerna och brandgatorna ska bestå av grus eller stenlagda stråk.

Vegetationsfria brandgator ska inrättas då avstånd på det gröna taket uppgår till 40 meter för att sektionera arean av ett grönt tak och begränsa konsekvensen av en eventuell brand. En brandgata utgörs i detta fall av en 0,3 meter hög barriär alternativt en minst 1 meter bred avskiljande zon.

Norsk Standard kräver att växtsubstratet innehåller högst 20 volymprocent organiskt material. Kraven gällande inspektion och underhåll av takytan är att det minst ska utföras två gånger per år för att säkerställa dess funktion och bibehålla en låg riskbild genom gallring av död och uttorkad växtlighet vid behov.

*Figur 1. Visualisering för avstånd till skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt Norsk Standard.*

## FLL

I Tyskland är det FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) som ger ut riktlinjer för hur ett säkert grönt tak designas. Deras standard har utvecklats i över trettio år och de var även de första att publicera en standard. Till följd av att FLL var banbrytande i branschen genom att instifta riktlinjer för uppförande och underhåll av gröna tak har också många andra länders riktlinjer formats utefter deras, eller i vissa fall fullständigt utgått från dess struktur. Den senaste versionen utkom i januari 2010. Rekommendationer i urval enligt FLL 2010 gällande brandskydd sammanfattas nedan.

Vegetation ska ersättas med vegetationsfria zoner på minst 0,5 m som en brandskyddande åtgärd där brännbara byggnadsdelar, brandsektioneringsväggar, genomföringar eller öppningar i tak samt där rökluckor och takfönster befinner sig. De specificerar även att de vegetationsfria zonerna och brandgatorna ska bestå av grus eller stenlagda stråk.

Vegetationsfria brandgator ska inrättas då avstånd på det gröna taket uppgår till 40 meter för att sektionera arean av ett grönt tak och begränsa konsekvensen av en brand. En brandgata får antingen utgöras utav en 0,3 meter hög barriär alternativt en 1 meter bred avskiljande zon.

FLL anger att växtsubstratet inte får vara mindre än 30 mm djupt och att andelen organiskt material inte får överstiga 65 g/l för ett extensivt grönt tak. Kraven gällande inspektion och underhåll är att de minst ska utföras två gånger per år för att säkerställa dess funktion och bibehålla en låg riskbild genom gallring av död och uttorkad växtlighet vid behov.

*Figur 2. Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt FLL.*

## GRO

The Green Roof Organisation (GRO) är en brittisk organisation som bildades 2008 till följd av det alltmer ökade intresset för gröna tak i Storbritannien. Deras riktlinjer för ”Best practice” är till stor del baserad på de tyska FLL:s riktlinjer men modifierad för att passa den brittiska byggmarknaden [17]. Rekommendationer i urval enligt GRO gällande brandskydd sammanfattas nedan.

GRO anser att jordsubstratet minst ska ha ett djup på 80 mm och maximalt innehålla 20 volymprocent organiskt material för att förhindra att brand uppstår på ett grönt tak.

Vegetationsfria brandgator ska inrättas som en brandskyddande åtgärd runt eller vid de platser där takfönster samt vertikala väggar med fönster och dörrar är placerade. De specificerar även att brandgatorna ska bestå av grus eller stenlagda stråk. Dessa vegetationsfria zoner ska anläggas med en minsta bredd om 0,5 m. Vid större anläggningar av gröna tak ska brandgatornas bredd utvidgas till att vara 1 meter var 40:e meter för att minimera konsekvenserna av en brand. Kraven för sektionering blir således 40 meter för att förhindra att alltför stora areor av gröna tak skapas.

För extensiva tak är rekommendationen att underhåll, såsom bortförsel av döda växter och inspektion av dräneringssystem, utförs två gånger om året.

*Figur 3. Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt GRO.*

## FM Global

Factory Mutual Insurance Company (FM Global) är ett multinationellt företag som arbetar med återförsäkring och baserar sin försäkringspremie på ingenjörsmässiga riskanalyser. De har sammanställt sina egna riktlinjer baserat på det stora antalet tester och provningar som görs på deras anläggning. Rekommendationer i urval enligt FM Global gällande brandskydd sammanfattas nedan.

FM Global ställer krav på att alla gröna tak ska vara försedda med bröstning. Den generella specificeringen är att bröstningen minst ska vara 0,15 m över omkringliggande underlag. Om takhöjden är mer än 46 meter ska dock bröstningen minst uppgå 0,76 m och en vegetationsfri zon upprättas på minst 0,9 meter kring denna [18].

Vid förekomst av brandväggar ska en vegetationsfri zon upprättas på vardera sidan, med ett minimumavstånd på 15 meter. Denna vegetationsfria zon ska bestå av stenballast eller någon form av stenläggning. Begränsningar för övrig takstruktur är uppdelad i två olika kategorier där den första består av takkant, takinstallationer och genomföringar, exempelvis schakt, rör, ledningar och solpaneler. Den andra består av större takinstallationer såsom maskinrum, takvåningar, terrasser och omkringliggande fasadväggar. Avstånd för den vegetationsfria zonen som gäller är 0,5 meter för den första gruppen och 0,9 meter för den andra.

För att förhindra att gröna tak får en alltför omfattande brandspridning har FM Global infört ett krav på sektionering, det innebär att arean för ett grönt tak inte får uppgå till mer än 1450 m² samt sidan av en sektion inte överstiger 39 meter och att sektioneringen ska avgränsas med en 0,9 meter bred vegetationsfri zon.

I driftskedet ligger ansvaret på fastighetsägaren att underhålla det gröna taket med ett minimum av två gånger per år, det årliga underhållet innebär inspektion och gallring av växtligheten där det bedöms nödvändigt.

*Figur 4. Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt FM Global.*

## ANSI

American National Standards Institute (ANSI) är en amerikansk organisation som ger ut riktlinjer och standarder för den amerikanska privata sektorn. Deras standard BSR/SPRI VF-1 är tänkt att fungera som ett minimikrav för designen av gröna tak i USA. Rekommendationer i urval enligt BSR/SPRI VF-1 gällande brandskydd sammanfattas nedan.

Takstrukturer i form av brännbara vertikala ytor som angränsar till ett grönt tak ska omgärdas av en vegetationsfri zon på 1,8 meter och uppfylla Klass A enlighet med testmetoden ASTM E108 eller UL790 [19].

ANSI har precis som FM Global infört ett krav på sektionering där brandgator vid behov ska införas så att arean för ett enskilt grönt tak inte överstiger 1450 m² och sidor 39 meter.

Begränsningar för takkant, takinstallationer och genomföringar, exempelvis schakt, rör, ledningar och solpaneler är att avståndet för den vegetationsfria zonen ska vara 0,5 meter.

I driftskedet ligger ansvaret på fastighetsägaren att underhålla det gröna taket ett minimum av två gånger per år, det årliga underhållet innebär inspektion och gallring av växtligheten där det bedöms nödvändigt.

*Figur 5. Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt ANSI.*

### Övriga världen

Det råder en stor variation i utvecklingen för standarder och riktlinjer runtom i världen. De ovan nämnda länderna och organisationerna är de som författarna anser kommit längst i utvecklingen relaterat till utformningen och anläggningen av gröna tak för att säkerställa en god nivå av brandsäkerhet. I ovan nämnda standarder finns tydliga detaljbaserade krav och riktlinjer för att uppfylla brandkrav, detta är något som helt eller delvis saknas i andra riktlinjerna som undersökts. Omfattningen av rekommendationer eller krav kopplat till brand sträcker sig mellan att helt saknas till att kort nämna att hänsyn bör tas för att begränsa risken för brandspridning i dessa standarder.

De standarder och riktlinjer som undersökts är enligt följande:

- A guide to GREEN roofs, walls and facades (State of Victoria, Australien)
- Technical Guidelines for Green Roofs Systems in Hong Kong (Hong Kong, Hong Kong)
- Sydney City Council Green Roof Resource Manual (Sydney, Australien)
- A concise guide to Safe Practices for rooftop greenery (Singapore)
    - Singapore Civil Defence Force – Fire Code 2013
- Toronto Municipal Code Chapter 492, Green Roofs (Toronto, Kanada)

I vissa riktlinjer förekommer det hänvisningar till några av de mer detaljerade standarderna och riktlinjerna såsom exempelvis FLL där de förklarar att avstånd utgår från deras riktlinjer.

## 4.2 Provningsmetoder aktuella för gröna tak

Detta kapitel är i stora delar identiskt med kapitel 4.3 i ett av exjobben som är kopplade till projektet [2].

Örtsedumvegetationens brandegenskaper beskrevs och resonerades kring i föregående stycke och utifrån den teoretiska kunskapen kan det vara av intresse att jämföra hur dessa brandegenskaper undersöks och klassificeras i praktiken. Huruvida taktäckning av örtsedum-typ medför ökad risk för uppkomst av brand eller ej är något som det fortfarande råder oklarheter kring. Vissa ser det som fullständigt ohållbart att man i en modern stadsbebyggelse propagerar för brännbara material på taken, medan andra menar att gröna tak bidrar till ett effektivare brandskydd [20]. Dock kan det sägas att ett örtsedumtak som inte underhålls på rätt sätt garanterat medför en ökad mängd brännbart material på taket i form av döda växtdelar [21]. I BBR finns ännu inte något specifikt kapitel som berör gröna tak. Detta är dock något som i allra högsta grad kan komma att bli aktuellt förutsatt att trenden rörande gröna tak håller i sig. I BBR, kap. 5 berörs de brandrelaterade egenskaperna hos en taktäckning enligt följande:

Av regelverket framgår det tydligt att brännbara taktäckningar ska klara brandprovning enligt standarden ENV 1187 test 2 och därmed är klassade enligt materialklassen $B_{Roof}$ (t2). Det är här problematiken kring taktäckning av örtsedumtyp kommer in i bilden. Idag finns ytterst få örtsedumprodukter tillgängliga på marknaden som är brandklassade enligt $B_{Roof}$ (t2), och testet i sig medför en viss problematik kring provning av en sådan taktäckning.

Nedan beskrivs testmetoden för brandklassificering $B_{Roof}$ (t2) kortfattat.

### 4.2.1 Takmaterialstest enligt ENV 1187 och $B_{Roof}$ (t2) klassificeringen

Som ovan nämnt är ENV 1187 den provningsmetod som idag används för att verifiera brandsäkerhet hos ett taktäckningsmaterial i Sverige. Om taktäckningen klarar detta test uppfyller det alltså materialklassen $B_{Roof}$ (t2) och föreskrifter i BBR. Om taktäckningen inte klarar provningen tilldelas det klassificeringen $F_{Roof}$ (t2). Det föreligger idag inget krav på leverantörer att brandklassa sina produkter men ur ett marknadsperspektiv kan det anses mycket fördelaktigt. I Sverige utförs provningen av Research Institutes of Sweden (RISE) och ENV 1187 är en europeiskt anpassad version av det äldre svenska testet NT FIRE 006. Klassificeringen görs sedan enligt ENV 13501-5.

Testet går till enligt följande:

En provkropp av dimensionerna 400x1000 mm placeras i testmodulen, ovanpå ett för produkten relevant underlag (t ex. bitumenbaserad takpapp på ej flamskyddsbehandlad spånskiva). Provkroppen har före testets inledning torkats ut vid 105°C och sedan konditionerats enligt standarden i 23+/-2 °C och 50+/-5 % RF tills det att konstant massa uppnås. Uppställningen återges i form av en schematisk skiss i Figur 6 nedan. Provkroppens lutning vid testet är 30°, vilket är en större lutning än vad som rekommenderas för de flesta typer av gröna tak. Provningsmodulens fläktar genererar därpå en vindstyrka över provkroppen, varierande mellan 2 och 4 m/s i testserien (tre provningar vid varje vindhastighet). Därefter antänds en träribbstapel som placeras direkt ovanpå provkroppen. Testet avslutas när branden självslocknat, alternativt efter 15 minuter vilket är maximal tid för testet. Efter slutförd provning mäts längden av den brandskadade ytan, från brandkällan och framåt. Den maximala skadade längd som medför godkänt provningsresultat och således $B_{Roof}$ (t2) klassificering, är 0,55 m [22, 23].

Key
1 Fan
2 Shield
3 Hinged lid
4 Removable wall channel sections
5 Specimen
6 Wooden crib
7 Inspection cover

**Figure 1 General view of the test equipment as given in ENV 1187**

*Figur 6. Testmodul vid provningsmetod enligt ENV 1187, test 2*

### 4.2.2 Alternativa test

Runtom i världen används en mängd andra provningsmetoder för att fastställa en taktäcknings brandmotstånd. Ett par av dessa provningsmetoder redovisas i korthet nedan.

#### ENV 1187, test 1,3 och 4

Som ovan beskrivit är det ENV 1187, test 2 det taktäckningstest som används vid materialprovning i Sverige idag. Trots försök till harmonisering inom Europa innehåller teststandarden flera varianter av testet som hänvisas till på skilda sätt inom regelverken i olika länder. Aktörer som vill agera på en internationell marknad kan därför behöva testa sina material enligt flera olika metoder.

En kort beskrivning av de varierande testmetoderna inom ENV 1187 ges nedan.

I Tyskland tillämpas taktäckningsprovning enligt ENV 1187, test 1 som standard för klassificering av taktäckning. Detta test innebär att en tändkälla i form av en metallkorg fylld med träull placeras direkt ovanpå den lutande provkroppen. Uppställningen liknar den som används vid test 2, med skillnad att test 1 utförs utan vindpåföring. Klassificering sker efter kriterier för brandspridning och genombränning. Testet resulterar i antingen godkänt resultat med märkningen $B_{Roof}$ (t1), eller icke-godkänt resultat med märkningen $F_{Roof}$ (t1) [24].

Test 3 kan anses vara det test i ENV 1187 som är mest påfrestande och således också ställer högst krav på taktäckningen [25]. Denna provningsmetod liknar till uppbyggnaden test 2, med skillnaden att provkroppen utöver direkt brandpåverkan från en träribbstapel även utsätts för strålning. Klassificering sker efter brandspridning och genombränning. Testet resulterar i antingen godkänt resultat med märkningen $B_{Roof}$ (t3), eller icke-godkänt resultat med märkningen $F_{Roof}$ (t3) [24].

Test 4, vilket är den provningsmetod som används i Storbritannien, är uppbyggd på ungefär samma sätt som test 3, med skillnaden att provningen sker i två steg (direkt brandpåverkan skiljs från strålningstestet). Klassificering sker efter kriterier för brandspridning och genombränning och testet resulterar i antingen godkänt resultat med märkningen $B_{Roof}$ (t4), eller icke-godkänt resultat med märkningen $F_{Roof}$ (t4) [24].

#### ASTM E108

I USA utförs tacktäckningsprovning med avseende på brandegenskaper enligt testmetod ASTM E108, vilken resulterar i klasserna Klass A, Klass B eller Klass C. Vilken klass taktäckningen behöver inneha beror på användningsområdet för den byggnad på vilken taktäckningen ska ligga. Krav på klassning presenteras i Tabell 2 nedan.

*Tabell 2. Krav på taktäckningsklass enligt amerikansk standard.*

| | **Taktäckningskrav enligt ASTM E108** |
|---|---|
| Klass A | Avstånd i horisontalled till närliggande byggnad är 0 till 6 m, eller byggnad dimensionerad för fler än 300 personer |
| Klass B | Alla andra byggnader där människor vistas |
| Klass C | Byggnader där människor inte vistas |

Testet utförs med skilda förutsättningar beroende på vilken klass man vill uppnå, således kan resultatet enbart bli godkänt eller icke godkänt. Provningsmetoden är uppdelad i tre deltest, ett för flamspridning över ytan, ett för genombränning och ett för antändning och genombränning på grund av flygbrand. De tre deltesterna beskrivs i korthet nedan.

**Spread of Flame Test**

Provningsmodulens uppbyggnad består av en så kallad *Steiner tunnel*, i vilken provkroppen placeras med en given lutning. Därefter utsätts provkroppen för direkt flampåföring från en gaslåga med temperaturen 890 +/- 10 °C i kombination med vindhastigheter av 5,36 +/- 0,22 m/s. Testet pågår under 10 minuter vid provning av Klass A och B och 4 minuter vid provning av Klass C. Testet är godkänt om flamman ej sprids längre än 1,83 meter för Klass A, 2,44 meter för Klass B och 3,96 meter för Klass C. Provkroppen får inte falla sönder och inga flygbränder får uppstå [26, 27].

**Intermittent Flame Test**

Testet för genombränning utförs på liknande sätt som för provning av flamspridning, med den skillnaden att provkroppen istället för kontinuerlig flampåförsel utsätts för direkt brandpåverkan från gaslåga (760 °C vid Klass A och B, 700 °C vid Klass C) under cykler av två minuter vid provning för Klass A och B samt cykler med en minuts brandpåverkan följt av två minuter utan brandpåverkan vid provning för Klass C. Testet pågår under 15 cykler vid provning för Klass A, 8 cykler för Klass B och tre cykler för Klass C. Godkännande av testet görs på samma sätt som för flamspridningstestet med skillnaden att det i detta test inte heller får uppstå flammor vid provets undersida [26, 27].

**Burning Brand Test**

Detta test är det som är mest likt de europeiska provningsmetoderna. Det utförs i samma testmodul som övriga brandtester, men tändkällan är här träribbstaplar av varierande storlek beroende på om testet syftar till klassificering enlig Klass A, B eller C. Godkännande av testet görs utifrån samma premisser som för genombränningstestet [26, 27].

## 4.3 Utförd forskning kopplad till gröna tak och brandskydd

Ingen tidigare forskning kring brandrisker med gröna tak har hittats. Som nämnts ovan så finns indikationer på att tester med gröna tak och skyddsavstånd utförts i samband med riktlinjerna som FLL anger. Försöksuppställningar och resultat från sådana tester har dock inte kunnat hittas.

Däremot finns ett flertal nationella och internationella studier gällande skogsbränder. En kategori av bränsle i skogsbrandsstudierna är gräs, vilket bör vara ett bränsle som ur brandspridningssynpunkt har många likheter med ett grönt tak med motsvarande vegetation. Även andra typer av gröna tak skulle sannolikt kunna liknas vid andra typer av bränslen som berörs av skogsbrandsstudier. Sverige och Kanada har bedrivit mycket forskning på bland annat skogsbrandbeteende, släckmetoder och skillnader på olika bränsletyper. Mycket kunskap gällande brandspridning i växtlighet går att inhämta via studier av skogsbränder men en väsentlig skillnad mot brandspridning i ett grönt tak är omfattningen och avstånden som studeras, vilket vid en skogsbrand är betydligt mer storskalig en vid en brand i ett grönt tak.

Utöver ovanstående så har VINNOVA (Sveriges innovationsmyndighet och en statlig myndighet under Näringsdepartementet) gett ut en handbok för projektering av växtbädd och vegetation (överbyggnad) [28]. Syftet med handboken är att bidra till anläggningar med hög kvalitet, hållbarhet över tid och nolltolerans mot läckage. I rapporten anges att vid analytisk

dimensionering kan underlag till särskild utredning och jämförelse utgöras av internationell litteratur (t.ex. FLL och Gro som berörs ovan). Rapporten redovisar två exempel på lösningar som anges har godkänts av ett antal brandskyddskonsulter i Sverige. Rapportförfattarna av denna rapport anser dock att slutsatserna i VINNOVAs rapport är felaktiga då det ej går att basera en analytisk dimensionering enbart på hänvisningar till andra länders lagar och riktlinjer. Däremot skulle det vara möjligt att nyttja det underlag som använts till framtagandet av lagar och riktlinjer, tex. resultat från försök. Vid utförd litteraturstudie av internationella lagar och riktlinjer har dock ingen bakgrund till föreslagna åtgärder identifierats.

## 4.4 Hur sker spridning i ett grönt tak och finns risk för spridning till intilliggande takytor?

### 4.4.1 Spridning längs takytan

Detta kapitel beskriver teoretiskt hur brandspridning i ett grönt tak skulle kunna ske samt några av de yttre parametrar som har stor påverkan på spridningen. Detta baseras till största del på teori kring skogsbränder, men även på utförda försök av ett örtsedumtak. Då det är stora skillnader i brandens omfattning vid skogsbrand och vid brand i ett örtsedumtak kan det innebära att viss teori från skogsbränder inte är direkt tillämpbar i aktuellt fall. De parametrar som påverkar brandförloppet och brandspridningen kan antas vara samma i de båda fallen men dock kan parametrarnas betydelse variera mellan de olika situationerna.

**Brinntid**

Brinntid även kallad residenstid är den tiden det tar för flambasen att förflytta sig över en viss punkt. Vilket även kan beskrivas som tiden från att bränslet antänds till att det slocknar. Brinntiden är relativt kort för de flesta bränsletyper och ju tunnare ett bränsleelement är desto snabbare brinner det ut. För gräsförna är brinntiden ca 20 sekunder och mossa/förna ca 1-2 minuter [29].

I det examensarbete som utförs inom detta forskningsprojekt har försök utförts där brandspridning i grönt tak studerats [2]. I försöken var brinntiden i varje punkt ca 40-50 sekunder, se Tabell 3.

*Tabell 3. Tabell 15 från Elias & Håkansson (2017) [2] - Sammanfattning av tid till antändning och självslockning.*

| | pilotlåga | tid antändning [s] | tid självslockning [s] |
|---|---|---|---|
| 1 | ja | - | - |
| 2 | ja | - | - |
| 3 | ja | 12 | 28 |
| 4 | nej | 187 | 226 |
| 5 | nej | - | - |
| 6 | nej | 34 | 85 |
| 7 | ja | 47 | 90 |
| 8 | ja | - | - |
| 9 | ja | 57 | 95 |
| 10 | nej | 65 | 114 |
| 11 | nej | - | - |
| 12 | nej | - | - |
| 13 | ja | - | - |
| 14 | ja | - | - |
| 15 | ja | - | - |
| 16 | nej | - | - |
| 17 | nej | - | - |
| 18 | nej | - | - |

## Intensitet

Intensiteten är flammans energiutveckling per längdenhet i flamfronten (kW/m). En och samma brand kan ha en stor variation i intensitet beroende på vilken del av flamfronten som studeras. Faktorer som påverkar intensiteten lokalt är t ex. om marken lutar eller om flamfronten drivs på av vinden [29].

Intensiteten beror av mängden bränsle som kan konsumeras i flammorna och med vilken hastighet som fronten rör sig. Intensiteten per meter flambredd är beroende av bränslets massa (kg/m2), energiinnehåll (kJ/kg) och spridningshastighet (m/min) [29].

Brinntiden i varje punkt är i stort sett konstant vid ökad spridningshastighet, vilket innebär att en hög intensitet leder en längre flamfront. Det tar alltså ungefär lika lång tid för en viss punkt att brinna från antändning till den slocknar vid hög och låg intensitet [29].

Ett material med en lång brinntid kommer således leda till högre intensitet än ett material med kort brinntid, förutsatt oförändrad spridningshastighet. Enligt stycket ovan har örtsedum relativt kort brinntid på ca 40–50 sekunder.

Brinntiden är alltså inbakat i intensiteten förutsatt att baksidan av flamfronten är slocknad. Om baksidan av flamfronten inte hunnit slockna som i initialskedet så är intensiteten lägre än detta teoretiska värde, se Figur 7.

En hög intensitet leder även till längre flammor.

*Figur 7. Intensiteten hos flamman, energiutveckling per längdenhet i flamfronten, når sitt maximum när baksidan av flamfronten är slocknad*

En av parametrarna som är avgörande för intensiteten är bränslets massa vilket även kan beskrivas som bränslemängden. Högväxande träd och kortare busklandskap har en bränslemängd på 0,7 kg/m$^2$ [30] , finbränsle på mark på 0,6 – 1,2 kg/m$^2$ och gräsmark på 0,3–1 kg/m$^2$ [29]. Flera källor [31] anger att bränsletyp gräs har en bränslemängd på 0,3 kg/m$^2$. Utifrån detta bedöms det troligt att bränsletypen örtsedum har en bränslemängd på ca 0,3 – 1,2 kg/m$^2$, varvid ett medelvärde uppgår till ca 0,75 kg/m$^2$.

Av de bränsletyper som finns i en skogsbrand bedöms inte energiinnehållet variera avsevärt mellan olika bränslen. Det anges att energiinnehållet för döda bränslen är ca 18 000 kJ/kg torrvikt och för levande bränslen ca 24 000 kJ/kg [31]. På samma sätt så kommer ett grönt tak troligen bestå av en blandning av döda och levande bränslen och kan antas ha ett energiinnehåll på mellan 18 000 - 24 000 kJ/kg.

För att bedöma intensiteten krävs en uppskattning av den aktuella spridningshastigheten. Spridningshastigheten varierar beroende på rådande ISI (Initial Spread Index), vilket är ett indexeringsvärde som väger samman finbränslets fukthalt (FFMC – Fine Fuel Moisture Code) med vindhastighet [29] och bränsletyp [32]. I en kanadensisk manual för ett beräkningsprogram av spridning av skogsbränder har korrelationer mellan spridningshastigheten och ISI-värden sammanställts i grafer baserade på bränsletyp [31]. Granström presenterar resultat från försök på brandspridningshastigheter återgivna i Figur 8 [29]. Dessa resultat baseras på en serie försöksbränningar utförda på ohävdad (ej brukad eller påverkad av människan) gräsmark från början av maj till sen juni. Vegetationens växlande brandegenskaper kan tydligt ses i figuren, där skiftningen från ”brandfarlig” till ”brandsäker” inträffar strax före den 12 juni. Försöken är utförda i närheten av Umeå, varför skiftet i brandfarlighet bör ske runt en månad tidigare i de södra delarna av landet [29]. Den streckade kurvan i figuren visar rådande ISI där vindhastigheten ingår [29]. Ett lågt ISI innebär i regel en kombination av hög fukthalt och låga vindhastigheter, medan ett högt ISI representerar det omvända [33]. Det ska även tilläggas att ett ISI under fyra anses som relativt lågt (dvs. icke-brandfarligt), medan ett ISI från åtta och uppåt anses vara höga värden (dvs. brandfarligt) [34]. Således kan ISI-värdet användas för att ge en uppskattning av bränslets antändlighet och förutsättningar för spridning.

*Figur 8. Försök på brandspridningshastigheter för ört- och gräsvegetation [35] (med tillstånd av Granström).*

**ISI och BUI**

Som nämnt ovan kan ”Initial Spread Index” (ISI) användas för att beskriva spridningshastighet vid brand i ett grönt tak. Detta index tar hänsyn till relevanta parametrar såsom vindhastighet och FFMC (Fine Fuel Moisture Content) för att ge en grov uppskattning av hur snabbt en brand fortskrider i vegetation. Ingående variabler för FFMC är mängden nederbörd, relativ fuktighet och lufttemperatur. Dessa parametrar beskriver fuktvariationen för vegetationen, även kallat bränslefukthalten. En högre bränslefukthalt tenderar att ge en lägre spridningshastighet, detta beror troligtvis på att det krävs en större mängd energi för att torka ut vegetationen för att pyrolysgaser ska kunna uppstå. ISI ingår som en av två delar i en kanadensisk beräkningsmodell ”Fire Weather Index” (FWI) som uppskattar potentiell risk och konsekvens av en skogsbrand [32, 36].

ISI tar endast hänsyn till kombinationen av vindhastigheten och bränslefukthalten i finfördelat bränsle medan Buildup Index (BUI) uppskattar den potentiella energiutvecklingsmängd i grövre bränsle som kan öka brandintensiteten och spridningshastighet i det senare skedet. Denna ökning av brandintensitet och spridningshastighet uppstår till följd av att brandhärden sänker omkringliggande bränsles bränslefukthalt [32, 36].

Nedan ges en visualisering på hur metodiken för brandspridningsprediktionen går tillväga vid storskaliga bränder i vegetation såsom skogsbränder. Det inleds som nämnts ovan med att hänsyn görs till aktuell vindhastighet och uppskattad bränslefukthalt i den brandutsatta vegetationen för att erhålla en grovt uppskattad spridningshastighet. Nästa steg är att beakta omkringliggande topografi och då framförallt i vindriktningen för att erhålla en mer preciserad spridningshastighet. Slutligen kombineras denna spridningshastighet med Buildup Index som sammanväger finbränslets energimängd och spridningshastighet (ISI) med den potentiella energiutvecklingsmängden i det grövre bränslet inom växtbädden (BUI).

*Figur 9. Principskiss för hur en korrigerad spridningshastighet tas fram med hjälp av Fire Behaviour Prediction modellen [32].*

### Vindhastighetens påverkan på spridning

Hastigheten på omgivande luft är en viktig faktor vid bedömning av flamspridning och flamspridningshastighet över en bränsleyta. Enkelt förklarat kan flamspridning över en yta förklaras enligt en schematisk princip enligt Figur 10 (reproducerad från figur 7.2 ur *An Introduction to Fire Dynamics* [37].

*Figur 10. Flamspridning över yta. Reproducerad från An Introduction to Fire Dynamics [37]*

I området framför flamfronten uppstår en så kallad uppvärmningszon. I denna zon värms det bränsle som ännu inte deltar i förbränningen upp till den gräns då den bränslespecifika flamtemperaturen uppnås, och flamfronten kan röra sig framåt. I figuren visas även den motriktade luftströmningen som uppstår som en följd av förbränningen. Denna luftström bidrar med inblandning av syre till förbränningen, vilket är en förutsättning för att flamman ska hållas vid liv. Luftströmmen kan även, vid tillräckligt höga hastigheter, bidra med den rakt motsatta effekten. Vid höga luftflöden verkar den motriktade luftströmmen avkylande mot bränsleytan i uppvärmningszonen, vilket i sin tur resulterar i en långsammare flamspridningshastighet [37, pp. 233-236]. Dessa förhållanden gäller vid flamspridning över en yta utan påverkan av omgivande lufts hastighet (vind). Om man till denna flamspridningsmodell även adderar luftströmningar förändras förutsättningarna för flamspridning.

Vid flamspridning i riktningen mot vindhastigheten saktas spridningen ned. Detta sker delvis till följd av luftströmningens nedkylande effekt, nämnd ovan, men även som en konsekvens av luftströmmens förskjutning av pyrolysgaser mot flamfronten. Om flamspridningen istället sker i samma riktning som vindhastigheten sker det omvända, och kraftigt ökade flamspridningshastigheter uppnås [37, p. 254]. Detta sker främst som en konsekvens av att värmeöverföringen till uppvärmningszonen ökas då flamman böjs ut över det obrända materialet och strålningsintensiteten mot ytan ökar. Detta fenomen bidrar till ökad flamspridningshastighet upp till en viss gräns, då luftflödets hastighet blir så stor att spridningshastigheten istället för att öka börjar avta. Detta sker på grund av att vindhastigheten trycker bort de brännbara pyrolysgaserna från förbränningsområdet och därmed helt eller delvis förflyttar bränslet ut ur reaktionszonen.

Utifrån data över vindhastigheter under året 2015 kan en medelvind baserad på tre orter spridda över Sverige beräknas till ungefär 3 m/s samt en vindhastighet vid datamängdens 90:e percentil till ungefär 6 m/s.

En slutsats inom det examensarbete som utförts [2] är att flamspridningshastigheten ökar med ökande vindstyrka, men bara upp till en viss gräns. Vändningen, där spridningshastigheten inte längre ökar som funktion av ökande vindstyrka utan istället avtar, kunde utifrån utförda försök väntas ske någonstans i intervallet mellan 4 och 10 m/s. Det ska dock poängteras att den vindhastighet som krävs för att denna så kallade blow-off effekt ska inverka på flamspridningen varierar beroende på brandens storlek och aktuellt bränsle. Det skulle också teoretiskt kunna finnas ett tröskelvärde där branden blivit så stor att ingen blow-off effekt uppstår inom rimliga vindhastigheter men detta undersöktes inte i denna studie.

### 4.4.2 Vindens påverkan på flambasens utformning

Vinden påverkar även brandens spridningshastighet och därmed även utformningen av flambasen.

Vid svag vind kommer branden anta en cirkulär form kring antändningskällan, se Figur 11 *[29]*. Vid ökad vindpåverkan kommer branden istället att anta en mer elliptisk form, ju hårdare vind desto smalare ellips *[31]*. Formen på flambasen och flammans bredd och längd förhåller sig till varandra genom en sk. L/B- faktor vilken förändras beroende på vindhastighet, se *[31]*.

Brandens area och omkrets från en startpunkt kan beräknas för en given tid genom den totala spridningsdistansen och effektiv vindpåverkan. I en kanadensisk manual till beräkningssystemet FBP [33] anges area och L/B-faktor för ett antal olika bränsletyper vid olika vindpåverkan. Figur 13 visar värden för bränsletypen gräs. Denna bränsletyp bedöms ha stora likheter med örtsedum.

*Figur 11. Brandens utbredning blir cirkulär kring en punktkälla vid väldigt svag vind. Bild tagen från [35]*

*Figur 12. Flambasen är beroende av L/B faktor samt vindens styrka [31]*

| Flambasens area vid bränsletypen gräs($m^2$) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vindstyrka (m/s) | | | | | | | | | | |
| Spridnings-avstånd | 0 | 1,4 | 2,8 | 4,2 | 5,6 | 7,0 | 8,3 | 9,7 | 11,1 | 12,5 | 13,9 |
| 25 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | <1000 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | < 1 000 | < 1 000 |
| 50 | 2 000 | 1 000 | 1 000 | <1 000 | <1000 | <1 000 | <1 000 | < 1 000 | < 1 000 | < 1 000 | < 1 000 |
| 100 | 10 000 | 3 000 | 2 000 | 2 000 | 2000 | 2 000 | 1 000 | 1 000 | 1 000 | 1 000 | 1 000 |
| L/B | 1 | 2,3 | 3,2 | 3,5 | 4,4 | 4,9 | 5,3 | 5,7 | 6,1 | 6,4 | 6,8 |

*Figur 13. Area, omkrets och L/B-faktor för bränsletypen gräs vid olika vindstyrkor. [33]*

### 4.4.3 Fuktinnehållets påverkan på spridning och antändning

Fukthalten i bränslet påverkar dess brandegenskaper och är den för hög kan en flamma inte längre spridas genom bränslet utan självslocknar istället. Bränslefukthalten (Moisture of extinction) måste ligga under 9-20 % för att antändning och brandspridning ska kunna ske genom flygbränder [2].

Levande örter och gräs har så hög fukthalt att det verkar direkt hämmande på brandspridningen att en mindre brand ofta självdör om inslaget av dessa arter utgör en betydande del av vegetationen. Torkade och vissna växter bildar dock ett lättantändligt bränsle förutsatt torrt klimat. Beroende på förhållandet mellan mängden levande och vissen växtlighet kommer en gräs- och örtvegetations brandegenskaper växla [31].

Eftersom fukten i material har stor påverkan på brandegenskaperna studerades även fukthalten i de provkroppar som användes i genomförda försök [2]. Det kunde konstateras att fukthalten i ”friska” provkropparna var ca 40 %, se Figur 14. Ett antal provkroppar torkades innan försöken för att motsvara en ”sommartorr” provkropp och hade då en fukthalt på under 20 %.

| Mätning av fukthalt i små provkroppar | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| massa frisk provkropp [g] | 286 | 213 | 339 | 312 | 228 | 260 | 219 | 261 | 208 | 270 | 253 | 230 |
| massa torr provkropp [g] | 185 | 134 | 209 | 189 | 142 | 162 | 131 | 161 | 139 | 175 | 164 | 141 |
| fukthalt [%] | 35 | 37 | 38 | 39 | 38 | 38 | 40 | 38 | 33 | 35 | 35 | 39 |

*Figur 14. Initial fukthalt i provkroppar som användes vid försök [2].*

Fukthalten i ett vegetabiliskt bränsle är högst troligen beroende av omgivningens relativa fukthalt och antändningsrisken hos ett vegetabiliskt bränsle ökar markant när den relativa fuktigheten i omgivningen understiger 30 % [29].

*Figur 15. Samband mellan relativ luftfuktighet och fukthalt i bränslet vid jämnvikt [38]*

Inom det examensarbete [2] som är kopplat till denna rapport har en studie av relativ luftfuktighet utifrån svenska väderdata gjorts. För att få en lägstanivå för relativ luftfuktighet i Sverige har data från SMHI:s väderdatabas använts för den torraste perioden i Sverige, april – juli. Ett beräknat medelvärde för perioden april-juli ger en relativ luftfuktighet på ungefär 72 %. Detta värde, kopplat till bränslefukthalt enligt Figur 15 resulterar i en bränslefukthalt över 15 %. Beräkningar på ett mer konservativt värde, 1:a percentilen av periodens relativa luftfuktighet, resulterar i en relativ luftfuktighet av 47 %. Detta skulle innebära den torraste procenten av periodens alla värden för luftfuktighet under de torraste månaderna under året. Vid jämförelse med värdena i Figur 15 skulle detta relatera till en bränslefukthalt i finbränsle av ungefär 12 – 15 %, vilket enligt tidigare studier ligger inom intervallet för moisture of extinction [2].

Enligt resonemanget är förhållandena i Sverige sällan är sådana att bränslefukthalten ligger inom ovan nämnt intervall för att antändning och brandspridning ska ske. Det är dock inte osannolikt att det vid ett antal tillfällen under året kan uppstå förhållanden där en brandspridning kan ske.

Även i utförda försök har slutsatsen dragits att vegetationen hos provkropparna snabbt bränns av vid låga bränslefukthalter, men brand tenderar att självslockna vid bränslefukthalter som kan relateras till normalt svenskt klimat. [2]

### 4.4.4 Spridning till intilliggande ytor

En brand i ett grönt tak kan sprida sig till en annan del av taket eller till ett annat tak på olika vis. I en sammanställning av hur en utvändig brand kan sprida sig till andra byggnader *External fire spread to adjoining buildings- A review of fire safety design guidance and related research* [39] anges följande spridningsvägar:

1. Flygbränder
2. Flamkontakt
3. Värmeöverföring genom konvektion och strålning

Nedan kommer ett utförligare resonemang kring ovanstående spridningsvägar.

**1. Flygbrand**

En flygbrand kan definieras som *en brand utanför den huvudsakliga branden som kan ha uppkommit genom att glödande partiklar förts med i vindens spridningsriktning*. [40]

För att en flygbrand ska kunna ske krävs att den brinnande ytan avger gnistor som gör att den mottagande ytan antänder. För att den mottagande ytan ska antända till följd av en flygbrand krävs att impulsen från den glödande eller brinnande partikeln är tillräckligt stor, och att den på så sätt via energiöverföring uppnår det mottagande bränslets aktiveringsenergi [41].

Ett flertal parametrar behöver vara uppfyllda samtidigt för att en flygbrand ska ske. En sammanställning av parametrar har gjorts efter en utredning av icke-brandskyddade stråtaks brandegenskaper utförd av Aalborg Universitet [41]. Detta är inte en helt rättvis jämförelse då stråtak har en större bränsledensitet och är samtidigt mer lättantändligt än de flesta gröna tak. Dock måste samma brandspridningsparametrar uppfyllas för att spridning av brand ska kunna ske. I rapporten lyfts följande parametrar fram som de dominerande i frågan om brandspridningen till taket kan ske eller ej:

- Storlek och intensitet på flygbranden
- Exponeringstid (mellan tändkälla och tak)
- Aktiveringsenergin hos det mottagande bränslet
- Takets yttemperatur
- Taktäckningens fuktinnehåll
- Aktuella vindförhållanden
- Var på taket flygbranden landar

Inom [2] har försök utförts för att studera spridning i örtsedumtak. En slutsats som har dragits utifrån försöken är att energiinnehållet i de gnistor som genereras av denna typ av brand är för litet för att kunna ge upphov till brandspridning i denna typ av mottagande material. Den energimängd som krävs har inte undersökts närmare i studien, men utifrån observationer vid utförda spridningsförsök kan det konstateras att det krävs mer än gnistor från träribbstapeln (som använts för antändning) och den brinnande vegetationen för att flygbränder ska inträffa.

Ovanstående gäller dock för mottagande material som vid exponering för gnistor eller brinnande partiklar är i stort sett opåverkat av branden i övrigt. Om den mottagande ytan utsätts för hög infallande strålning samtidigt som en gnista landar kan dock utfallet vara ett annat. Detta då den infallande strålningen i sig överför energi till det mottagande materialet, och på så vis förändrar spridningsförutsättningarna enligt tidigare nämnda parametrar ovan. Detta beskrivs vidare nedan.

*Gnistors kastlängd*
Utöver dessa parametrar, som alla gäller givet att en mottagande yta exponeras för en tändkälla, bör även faktorn kastlängd vägas in i resonemanget. Denna parameter beror, bland annat av bränsledensiteten, gnistans eller den brinnande partikelns massa samt vindhastighet. Tidigare försök att kartlägga gnistors kastlängder har enligt litteraturstudien genererat mycket olika resultat. I undersökta studier varierar en gnistas teoretiska maximala kastlängd mellan 30 och 200 meter. Att beakta i detta sammanhang är även att en gnista efter det att den färdats genom luften till ett mottagande, brännbart material måsta inneha tillräcklig energi och obränd massa för att kunna orsaka antändning enligt parametrar presenterade i studien utförd av Aalborgs Universitet [41].

Kastlängden är även beroende av konvektionens styrka. En högre intensitet och därmed en ökad konvektion ger ett intensivare partikelregn som kan färdas längre sträckor. Lyftförmågan från partiklar på markytan har dock visat sig vara låg, tillskillnad mot tex. lyftkraften från partiklar i trädkronor. Det eftersom att det i trädkronorna är en starkare uppåtgående luftström [29].

I utförda försök studerades gnistors kastlängder. Gnistors kastlängd varierar något mellan de olika försöken men en trend som kan utläsas är att kastlängden tenderar att bli något längre vid torrare provkropp och högre vindpåföring. Vid flera av försöken landade gnistor i den mottagande provkroppen, men detta orsakade aldrig antändning och vidare spridning. Observerad kastlängd för gnistor var som längst något längre än två meter [2].

**2. Flamkontakt**
I utförda försök observerades brandspridning i de fall då flamman kom i direktkontakt med bränsle på den mottagande provkroppen [2]. Om avståndet mellan den brinnande ytan och intilliggande brännbart material är kortare än aktuella flammors längd finns det alltså risk för att brandspridning kan ske via direkt flampåverkan.

Det är därför intressant att studera hur långa och höga flammor från en brand i ett grönt tak kan bli.

Flammans längd påverkas av vinden och vid hyggesbränningar har flamlängder upp mot 3 m observerats [32]. Enligt Granström [29] har brandens intensitet påverkan på flammornas höjd/längd, se Figur 16. Ökad intensitet leder till längre flammor och längre flambas. Flamlängden är dock inte direkt proportionell mot intensiteten, det har dock observerats att 300 kW/m ger en flamlängd på 1 m och 1500 kW/m en flamlängd på 2 m [29].

*Figur 16 Samband mellan intensitet och flamlängd [29]*

### 3. Värmeöverföring

Värmeöverföring från flamman till intilliggande ytor kan ske genom konvektion, konduktion, och strålning. Enligt Granström [29] är det dock i huvudsak stålningen som påverkar uppvärmningen av framförliggande ytor och som kan leda till vidare antändning. Nedan följer en kort sammanfattning av de olika värmeöverföringsdelarna relaterat till den typ av bränder som kan inträffa på ett grönt tak.

Konvektionen innebär att varm gas i flamman och i brandgaserna rör sig och värmer upp den omkringliggande luften genom inblandning och värmer upp ytor som den strömmar över. Varm luft stiger uppåt pga. att den är lättare än kall luft vilket utgör lyftkraft för eventuella gnistor och flammande partiklar. Vid en skogsbrand utgör konvektionen en väsentlig faktor i brandspridningsförloppet [29]**.**

Värme från flamman sprids även genom konduktion. Konduktion innebär ledning av värme genom intilliggande material. Det innebär att marken under branden får en ökad temperatur samt förvärmer ytan framför flammorna. Denna värmeöverföring är dock begränsad i förhållande till de andra värmeöverföringstyperna [29].

En flamma avger även värme via strålningsenergi, i alla riktningar [29]. Vid studier av brandspridning mellan byggnader [42] har det visat sig att det finns risk för brandspridning via strålning på större distanser än via flamkontakt och konvektion. I försök med antändning av plankväggar vid strålningsvärme visade resultatet att efter tre minuters exponering kan man få antändning via strålning på motsvarande avstånd som flammans längd [29]. Strålningen kan antas stå för cirka 35 % av den totala brandenergin [37].

Utifrån resonemanget ovan är det framförallt den utfallande strålningen från flamman som kommer att ha betydelse för risken för spridning till en intilliggande byggnad eller intilliggande material. Den infallande strålning som en mottagande kropp får ta emot är beroende av den utfallande strålningen från branden samt avståndet mellan mottagaren och branden.

**Kritisk infallande strålning för antändning av ett grönt tak**
För alla brännbara material finns en kritisk strålning som materialet klarar av att utsättas för innan det kommer att antända. Om materialet även utsätts för en extern tändkälla, tex. gnista eller flamma kan antändning ske vi längre strålningsnivåer. Antändning via strålning delas upp i spontan antändning samt antändning via pilotlåga.

Antändningsvillkoren varierar beroende på material. Exempelvis sker spontan antändning av trä vid en infallande strålning på ca 33,5 kW/m$^2$ och vid påverkan av en pilotlåga vid en infallande strålning på ca 12,5 kW/m$^2$ [42].

Ingen utförd forskning har identifierats som studerar antändningsvillkor för spontanantändning och vid pilotlåga för olika sorters gröna tak.

I utförda försök har det studerats om antändning sker eller ej vid infallande strålning med och utan pilotlåga för ett örtsedumtak. Försöken visade att vid en infallande strålning på 25 kW/m$^2$ så antändes sex av 18 provkroppar varav tre med pilotlåga och tre utan. Provkropparna var vid försöken konditionerade till olika fukthalter och delades in i kategorierna helt uttorkad, semi-uttorkad och frisk. Av de sex provkroppar som antände i försöken så var fyra helt uttorkade och två semi-uttorkade [2].

För att identifiera vid vilken infallande strålning som olika sorters gröna tak antänds behövs alltså vidare studier. Av ovanstående försök kan det konstateras att för ett örtsedumtak så sker antändning vid lägre strålningsnivåer än 25 kW/m$^2$.

## 4.5 Beräkningsmodeller

Nedan ges ett kort utdrag från ett pågående exjobb om beräkningsmodeller för gröna tak av Emelie Gunnarsson, Luleå Tekniska Universitet. För mer ingående beskrivningar av modellerna nedan hänvisas till exjobbet, som planeras att publiceras under våren 2018.

Enligt en rapport från MSB är de enklaste modellerna när det kommer till beslutsstöd vid brand i vegetation så kallade icke spatiala modeller. Icke spatiala modeller använder sig av lokala data och kan på så sätt uppskatta förutsättningarna för att en brand ska uppstå. Detta kan vara till fördel vid fördelning av brandbekämpningsresurser samt för att kunna anpassa graden av beredskap med mera. Genom att applicera denna data på en bränslemodell och uppskatta brandintensitet samt vindpåverkan kan en grov spridningsbild erhållas [43].

För att kunna göra mer realistiska simuleringar av brandspridning i vegetation krävs dock en simuleringsmodell som kan använda sig av mer varierande information och indata. En sådan modell kallas för spatial, vilket innebär att modellen kräver heltäckande information om både bränsle samt rådande mark- och väderförhållanden. Några viktiga variabler när det kommer till den indata som behandlar väderförhållanden är bland annat nederbörd, temperatur, vindstyrka och luftfuktighet [43].

Hur lyckad en simulering av vegetationsbränder blir beror primärt på kvaliteten i den indata som ges, oavsett vilken precision själva beräkningsmodellen har. Den utdata som sedan ges vid simuleringen utgörs exempelvis av brandens utbredning samt den uppskattade brandintensiteten. Brandintensiteten är av stor betydelse när det kommer till att uppskatta flamhöjden, vilket i sin tur har en stor betydelse för hur brandens fortsatta utveckling kommer att se ut.

Brandbeteendemodeller kan delas in i tre olika kategorier. Dessa kategorier samt exempel på modeller inom respektive kategori redovisas nedan [43]:

- Fysikaliska
    - FDS
    - FIRETEC
- Semi-empiriska
    - Rothermels mark- och toppbrandsmodell
    - BEHAVE
    - BehavePlus
    - FARSITE
- Statistiska
    - Mc Arthurs modell för gräsbränder
    - FBP-systemet

Vilken av de tre kategorierna som är mest lämplig att använda som brandbeteendemodell beror på vad modellen ska användas till eftersom alla kategorier har sina för- och nackdelar. För mer djupgående information kring beräkningsmodeller hänvisas till exjobbet av Emelie Gunnarsson som planeras att publiceras under våren 2018.

# 5. Slutsatser från litteraturstudie och genomförda försök

Nedan sammanfattas grundläggande slutsatser från litteraturstudien samt från de genomförda försöken i relation till de frågeställningar som angavs i början av denna rapport:

**Hur hanteras brandfrågor kring gröna tak idag i Sverige och i andra länder?**

I Sverige måste gröna tak uppfylla $B_{Roof}(t2)$ om de ska tillämpas inom förenklad dimensionering. Dock kan analytisk dimensionering tillämpas.

I andra länder finns normalt liknande krav. Dock finns det ett antal standarder i andra länder som indikerar att alternativa lösningar förenklat kan tillämpas.

**Finns det standarder för hantering av gröna tak i andra länder?**

Ja. Flera länder har standarder för utformning av gröna tak relaterat till brandriskerna.

**Finns det problem med gällande provningsmetod och finns mer lämpade provningsmetoder än de som är gällande idag?**

Provningsmetodens lämplighet för gröna tak kan diskuteras. Speciellt med avseende på den uttorkning som sker inför provning. Inga mer lämpade provningsmetoder har dock identifierats.

**Finns förutsättningar för att kunna acceptera gröna tak som inte uppfyller $B_{roof}(t2)$ i Sverige?**

Ja. Genom analytisk dimensionering kan andra gröna tak accepteras. Det finns dock en problematik kring hur en sådan analys ska utföras samt vilka acceptanskriterier som ska tillämpas. I slutsatsen nedan redovisas en beräkningsgång som kan användas för att uppskatta konsekvensen av en brand i ett grönt tak vid en sådan dimensionering.

**Finns tidigare forskning kring brandrisker med gröna tak eller som kan kopplas till den aktuella problematiken?**

Det finns inte mycket forskningsstudier kring bränder på gröna tak. Det indikeras på vissa ställen att försök är utförda men grundkällorna till dessa verkar inte vara publicerade i vetenskapliga sammanhang.

Det finns dock forskning på skogs- och gräsbränder som bedöms kunna tillämpas på problematiken kring gröna tak.

**Hur sker spridning av bränder i gröna tak och finns åtgärder som kan begränsa riskerna kopplade till detta?**

Spridning kan ske genom direkt flamspridning, strålning, flygbränder/gnistor eller en kombination av dessa faktorer.

Det går att försvåra brandspridning mellan olika gröna ytor genom t.ex. skyddsavstånd.

**Finns bedömningar eller beräkningsmodeller som är tillämpbara för den aktuella problematiken?**

Det finns sätt att beräkna flambredd- och längd samt spridningsbild för bränder i olika typer av material.

Det finns även mer avancerade beräkningsmodeller som kan användas. Många av dessa är dock anpassade till en större skala och därför inte tillämpbara för gröna tak.

# 6. Slutsats

Utifrån den utförda litteraturstudien kan alltså följande grundläggande slutsatser dras:

- Det finns i dagsläget inga riktlinjer för brandskydd som man i Sverige kan tillämpa direkt vid anläggandet av gröna tak förutom det som anges i BBR.

- Det finns riktlinjer i andra länder för hur gröna tak ska anläggas ur brandsynpunkt. Hur dessa riktlinjer tagits fram är dock oklart.

- Vissa typer av gröna taktäckningar är sannolikt svårantändliga stora delar av året men kan sannolikt antända lättare andra delar av året.

- Åtgärder skulle kunna vidtas för att en brand i ett grönt tak inte ska bli omfattande. Åtgärder kan också vidtas för att försvåra brandspridning till eller från taket.

- Det finns sätt att uppskatta konsekvensen av bränder i olika sorters gröna tak.

Kopplat till den sista av ovanstående slutsatser redogörs nedan för ett förslag på beräkningsmetod som kan användas när konsekvenser av en brand i olika typer av gröna tak ska värderas.

## 6.1 Förslag till metod för att beräkna konsekvensen av brand i gröna tak

Nedan har en beräkningsgång sammanställts som beskriver hur konsekvensen av en brand i ett grönt tak skulle kunna värderas.

För att värdera risken för brandspridning från takytan kan utgående strålning vid brand i grönt tak studeras. Detta då strålning tidigare framkommit utgöra den huvudsakliga faktorn vid brandspridning. Föreslagen beräkningsmetod tar även hänsyn till direkt flamkontakt med intilliggande yta i form av beräkning av flammans utböjning som funktion av vindpåföring. Utifrån en utfallande strålning kan en infallande strålning till intilliggande material beräknas. När aktuell infallande strålning är känd kan värdet användas för bedömning om vidare spridning till intilliggande material kan ske eller ej.

Metoden innehåller i dagsläget många parametrar som är okända och det behöver göras flertalet antaganden vid beräkningarna. Detta innebär att känslighets- och osäkerhetsanalyser för de parametrar där antaganden utförts behövs.

Bilaga 1 redovisar ett beräkningsexempel utifrån nedan föreslagen beräkningsgång.

Föreslagen beräkningsgång anges nedan:

**1. Beräkna flammas area (bredd x höjd)**
Beräkna flammans area (bredd x höjd) som strålar mot intilliggande yta. Flammans bredd kan beräknas utifrån samband mellan flammas längd och bredd (punkt 1a-1c). Flammans höjd kan beräknas genom ett förhållande mellan brandens intensitet och flammans höjd (1d och 1e).

*a) Ta fram spridningshastighet*
Utifrån rådande ISI-värde tas spridningshastigheten fram. Förhållandet mellan ISI och spridningshastighet återfinns som tabellerade samband, se Figur 8 samt bifogat beräkningsexempel.

*b) Beräkna flammans djup*
Utifrån genomförda försök [2] uppskattas brinntiden i varje punkt till ca 40 sekunder. Då brinntiden i teorin är konstant kan slockningshastigheten antas vara lika stor som spridningshastigheten. Således ger brinntiden tillsammans med spridningshastigheten (från punkt a) flambasens maximala djup.

Flammans djup (m) = Spridningshastighet (m/s) × brinntid (s) (1)

*c) Beräkna flammans bredd*
Flambasens djup (spridningsavståndet) tillsammans med L/B-faktor (längd/bredd) ger utifrån tabellerade schablonvärden brandens form och flammans bredd. Se avsnitt 4.4.2 samt bifogat beräkningsexempel. Som alternativ till detta steg kan värsta möjliga flambredd utifrån storleken på den gröna ytan antas.

*d) Beräkna brandens intensitet*
Brandens intensitet, *I,* beräknas utifrån sambandet [44]:

$$I = H \times w \times r \quad [kW/m] \quad (2)$$

Där;

H är bränslets energiinnehåll [kJ/kg]
w är bränsletäthet [kg/m$^2$]
r är flamspridningshastighet [m/s]

*e) Beräkna flamhöjd*
Flamhöjden $L_f$ kan beräknas utifrån intensiteten och sambandet nedan [44]:

$$L_f = 0{,}0775 \times I^{0{,}46} \quad [m] \quad (3)$$

**2. Beräkna utfallande strålning**
Beräkna utfallande strålning från det gröna taket utifrån sambandet:

$$E = \sigma \times \varepsilon \times T^4 \quad [W/m^2] \quad (4)$$

Där;
σ är Stefan- Boltzmanns konstant ($5{,}67 * 10^{-8}$) [W/m$^2$K$^4$]
ε är emissivitet [-]
T är absolut temperatur [K]

**3. Anta/beräkna kritiskt infallande strålning**
Kritisk infallande strålning vid den mottagande ytan bestäms eller antas beroende på intilliggande material och dess egenskaper. Se vidare information i avsnitt 4.4.

**4. Beräkna skyddsavstånd till mottagande yta**
Skyddsavstånd till mottagande yta beräknas utifrån bestämd kritisk infallande strålning, flammans area och synfaktor i enlighet med metod i An intoduction to fire dynamics [45].

**5. Flammans utböjning**
Vid vindpåföring kommer flamman att ha en utböjning mot den intilliggande ytan. För att ta hänsyn till utböjningen korrigeras det beräknade skyddsavståndet i punkt 4 med ett påslag för att ta hänsyn till flammans utböjning. Flammans utböjning nyttjas tillsammans med tidigare bestämd flamhöjd för att beräkna hur långt i horisontalled som flamman sträcker sig. Enligt en mycket konservativ bedömning adderas detta avstånd till det tidigare framräknade avståndet. Detta motsvarar en beräkning där hela flammans vertikalt orienterade (utan utböjning), area flyttas framåt motsvarande den längd som den vindinducerade utböjningen medför. Det ska noteras att detta är ett konservativt angreppssätt, och bedöms ge resultat med goda säkerhetsmarginaler.

En flammas utböjning kan enligt Albini [46, 47], beräknas som en funktion av Froude-talet (Fr). Denna beräkning är således beroende av omgivande vindhastighet, tyngdaccelerationen samt flamhöjden.

Flammans utböjning, ø, som funktion av vindpåföring beräknas utifrån sambandet nedan. Vinkeln utgör förhållandet mellan flammans centrumaxel och det horisontella planet. Utifrån denna bestämda utböjningsvinkel kan man således, med geometriska samband sats beräkna det minskade skyddsavståndet.

$$Ø = \tan^{-1} \times 0{,}8165 \times Fr^{-0{,}5} \quad [-] \quad (5)$$

$$Fr = u_0^2 / (g \times H) \quad [-] \quad (6)$$

Där;
Fr är Froudes tal [-]
$u_0$ är omgivande vindhastighet [m/s]
g är tyngdaccelerationen (9,82) [m/s$^2$]
H är flammans höjd [m]

**6. Korrigera skyddsavstånd med hänsyn till flammans utböjning**
Addera flammans utböjning till beräknat skyddsavstånd för att få skyddsavstånd inklusive hänsyn till flammans utböjning.

# 7. Förslag på vidare arbeten

Författarna anser att vidare arbeten bör utföras på följande områden:

- Provningar i fullskala av brandspridningsegenskaper hos olika sorters gröna tak samt effekten av barriärer.

- Småskaliga tester för att definiera referensvärden hos olika sorters gröna tak. Exempelvis infallande strålning för antändning och energiinnehåll.

- Hur effekten av barriärer påverkas av andra faktorer som t.ex. lutande tak.

- Författarna anser även att regelverket skulle behöva tydliggöras i förhållande till gröna tak. Tydligare acceptansnivåer för funktionskraven i BBR 5:62 bör införas för att nå en enhetlig nivå på bedömningarna av acceptabelt utförande.

- Vidare skulle arbeten med automatiska system för begränsning av brand på takytor vara ett intressant område för utveckling. Här finns i nuläget inga produkter som författarna känner till.

# Referenser


[1] Terminologicentrum, "TNC: Plan- och byggtermer 1994," Terminologicentrum TNC, Stockholm, 1994.

[2] A. Elias and D. Håkansson, "Örtsedumtak - En kartläggning av ett örtsedumtaks brandegenskaper och utformning med avseende på brand," Lunds Universitet, Lund, 2016.

[3] N. Dunnett and N. Kingsbury, Planting Green Roofs and Living Walls, London: Timber Press, 2008.

[4] BG Byggros, "BG Byggros," 2016. [Online]. Available: http://www.byggros.com/se/produkter/taktradgaardar-och-sedumtak/diadem-fardiga-systemlosningar-for-grona-tak/diadem-150-sedumtak-150kg-m2. [Accessed 07 10 2017].

[5] S. Gaffin, C. Rosenzweig, L. Parshall, D. Beattie, R. Berghage, G. O'Keeffe and D. Braman, "Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency," Greening Rooftops for Sustainable Communities, Boston, 2006.

[6] W. Li and K. Yeung, "A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective," *International Journal of Sustainable Built Environment,* vol. 3, no. 1, pp. 127-134, 2014.

[7] B. G. Gregoire and J. C. Clausen, "Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality," *Ecological Engineering,* vol. 37, pp. 963-969, 2011.

[8] J. Yang, Q. Yu and P. Gong, "Quantifiying air pollution removal by green roofs in Chicago," *Atmospheric Environment,* vol. 42, no. 31, pp. 7266-7273, 2008.

[9] K.-G. Kim, "The Application of the Biosphere Reserve Concept to Urban Areas," *Annals of the New York Academy of Sciences,* vol. 1023, pp. 187-214, 2004.

[10] T. Van Renterghem and D. Botteldooren, "In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs.," *Building and Environment,* vol. 46, pp. 729-738, 2011.

[11] F. Björk, "Green roofs effect on durability of roof membranes," Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 2004.

[12] Kungl. Maj:ts Byggnadsstadga, Stockholm, 1947.

[13] Planverket, Svensk Byggnorm, Stockholm, 1967.

[14] Planverket, Svensk Byggnorm, Stockholm, 1975.

[15] Boverket, Boverkets byggregler 19, Karlskrona, 2011.

[16] J. Breuning, "Fire and Wind on Extensive Green Roofs," *The Green Roof Infrastructure Monitor,* vol. 9, no. 1, pp. 12-13, 2007.

[17] The Green Roof Organisation, "Livingroofs," 14 07 2016. [Online]. Available: http://livingroofs.org/wp-content/uploads/2016/03/grocode2014.pdf.

[18] FM Global, "City of Berkeley," 14 07 2016. [Online]. Available: http://www.ci.berkeley.ca.us/uploadedFiles/Planning_and_Development/Level_3_-_Energy_and_Sustainable_Development/Factory%20Mutual%20Green%20Roof%20System.pdf.

[19] American National Standards Institute & Single Ply Roofing Industry, "Standards of Single Ply Roofing Industry," 14 07 2016. [Online]. Available: http://standards.spri.org/apps/group_public/download.php/673/.

[20] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), "Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing," Research Society for landscape Development and Landscape Construction, Bonn, 2008.

[21] Y. Edwards, "Hållbara Gröna Anläggningar/tak på Betongbjälklag - En översikt," CBI Betonginstitutet, Stockholm, 2014.

[22] SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, "Information om CEN/TS 1187, test 2," 9 Augusti 2016. [Online]. Available: https://www.sp.se/sv/index/services/firetest_building/firetest_bu%C3%ADlding/cents1187/Sidor/default.aspx.

[23] Nordtest, "NT Fire 006 - edition 2," Nordtest, Esbo, 1985.

[24] B. Sundström, "Nu får vi CE-märkta tak enligt Nordisk brandprovningsstandard," 10 Augusti 2016. [Online]. Available: http://www.takdukproducenterna.se/downloads/Taktackningar_Bygg_och_teknik_ver2.pdf.

[25] R. Appl, "New Fire Protection Tests on Green Roofs," 18 November 2011. [Online]. Available: http://www.zinco-greenroof.com/EN/news/press_releases/press_release_details.php?id=64.

[26] Architectural Testing, Inc., "ASTM E108 - Test Report, Report No.: D8409.01-121-24," Furbish Company, Maryland, 2014.

[27] C. Schevin, "ASTM E108 Standard Test Methods for Fire Test of Roof Coverings," 27 November 2013. [Online]. Available: http://www.palmex.fr/wp-content/uploads/2014/03/ASTM-E108_.pdf.

[28] A. Pettersson Skog, J. Malmberg, T. Emilsson, T. Jägerhök and C.-M. Capener, "Grönatakhandboken - växtbädd och vegitation," Vinnova, 2017.

[29] A. Granström, "Skogsbrand. brandbeteende och tolkning av brandriskindex," Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, Karlstad, 2006.

[30] E. Koo, R. R. Linn, P. J. Pagni and C. B. Edminster, "Modelling firebrand transport in wildfires using HIGRAD/FIRETEC," *International Journal of Wildland Fire,* vol. 21, pp. 396-417, 2012.

[31] Canadian Forestry Service Fire Danger Group, "User guide to the Canadian forest fire behavior prediction system," 1984.

[32] R. Hansen, "Skogsbrandsläckning," Räddningsverket, Karlstad, 2003.

[33] S. Taylor, R. Pike and M. Alexander, Field Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System, Victoria, British Columbia: Canadian Forest Service, 1996.

[34] Minnesota Department of Natural Resources, "Fire danger index," 17 Augusti 2016. [Online]. Available: http://www.dnr.state.mn.us/forestry/fire/maps/fdi_canadian.html.

[35] A. Granström, L. Berglund and L. Hellberg, "Gräsbrand - uttorkning och brandspridning i relation till brandriskindex," Räddningsverket, Karlstad, 2000.

[36] Government of Canada, "Natural Resources Canada," [Online]. Available: http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary/fwi. [Accessed 27 September 2017].

[37] D. Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, New York: John Wiley & Sons Ltd., 1985.

[38] C. V. Wagner, "Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System," Canadian Forest Service, Ottawa, 1987.

[39] E. Carlsson, "External fire spread to adjoining buildings- a review of fire saftey design guidance and related research," Department of Fire Saftey Engineering, Lund University, Lund, 1999.

[40] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, "Tumregler vid skogsbrand," Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2011.

[41] L. S. Sørensen, "Brandforhold ved stråtage," Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Aalborg, 2013.

[42] E. Carlsson, "External fire spread to adjoining buildings- a review of fire saftey design guidance and related research," Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 1999.

[43] Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, "Spridningsmodeller för brand i vegetation - Test av modeller lämpliga för svenska förhållanden," Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, Karlstad, 2016.

[44] D. R. Weise and G. S. Biging, "Effects of Wind Velocity and Slope on Flame Properties," *Canadian Journal of Forest Research,* vol. 26, pp. 1849-1858, 1996.

[45] D. Drysdale, An introduction to Fire Dynamics, 3 rd Edition, Wiley, 2011.

[46] B. Porterie, D. Morvan, J. C. Loraud and M. Larini, "Firespread through fuel beds: Modeling of wind-aided fires and induced hydrodynamics," *Phisics of Fluids,* vol. 12, no. 7, pp. 1762-1782, 2000.

[47] F. A. Albini, "A Model for the Wind-Blown Flame from a Line Fire," *Combustion and Flame,* vol. 43, pp. 155-174, 1981.

[48] C. Santín, S. H. Doerr, A. B. R. Merino and N. J. Loader, "Forest floor chemical transformation in boreal forest fire and their correlations with temperature and heating duration," *Geoderma,* vol. 264, pp. 71-80, 2016.

# Bilaga 1-Beräkningsexempel

För att värdera risk för brandspridning från en brinnande takyta kan infallande strålning, mot intilliggande material studeras. Detta då det utifrån genomförd litteraturstudie framkommit att det är just strålningen som utgör den huvudsakliga faktorn vid brandspridning över en yta av grönt tak. Genom att beräkna denna infallande strålning kan sedan en bedömning göras utifrån det exponerade materialets ämnesspecifika antändningsegenskaper. Genom en sådan bedömning kan ett skyddsavstånd tas fram, över vilket, brandspridning i teorin inte kan ske. För att även ta hänsyn till brandspridning via direkt flamkontakt mellan branden och ett intilliggande material bör även hänsyn tas till flammans utböjning som funktion av vindpåföring.

## Studerat scenario

Aktuellt beräkningsexempel avser en takyta belagd med örtsedum med måtten 35 x 35 m, se Figur A1. Beräkningarna avser definiera ett skyddsavstånd, över vilket en brand i teorin inte ska kunna sprida sig till intilliggande del av taket eller intilliggande tak. I detta scenario antas intilliggande exponerat material utgöras av en intilliggande takyta. Notera att beräkningsgången kan behöva justeras vid bedömning av brandspridning till andra mottagande bränslen.

Beräkningsexemplet är utfört enligt beräkningsmetod angiven i avsnitt 6.1 i huvudrapporten.

*Figur A1. Visualisering av hur takytan skulle kunna se ut i aktuellt scenario.*

## Beräkning

Nedan följer beräkningsgången för fastställande av ett teoretiskt betryggande skyddsavstånd utifrån ovan givna förutsättningar.

1. Beräkna flammas area (bredd x höjd)
    a. Ta fram spridningshastighet

    Utifrån resultat i utförd litteraturstudie antas ett ISI-värde på 8[2]. Med hjälp av Figur A2 (Figur 8 i huvudrapporten) fås spridningshastigheten 12 m/min (0,2 m/s) utifrån aktuellt ISI-värde.

[2] Ett ISI under fyra anses som relativt lågt (dvs. icke-brandfarligt), medan ett ISI från åtta och uppåt anses vara höga värden (dvs. brandfarligt) [34].

*Figur A2. Korrelation mellan ISI-värde och spridningshastighet*

b. Beräkna flammans djup

Utifrån genomförda försök [2] samt genomförd litteraturstudie uppskattas brinntiden i varje punkt till ca 40 sekunder. Då brinntiden är konstant kan slockningshastigheten antas vara lika stor som spridningshastigheten. Således ger brinntiden tillsammans med spridningshastigheten flambasens maximala djup.

Utifrån ekvation 1 i huvudrapporten beräknas därmed flambasens maximala djup.

Flammans djup (m) = 0,2 [m/s] × 40 [s] = 8 m

c. Beräkna flammans bredd

Flamfrontens spridningsavstånd, tillsammans med L/B-faktorn (längd/bredd förhållandet) ger utifrån tabellerade schablonvärden brandens form och därigenom även flammans maximala bredd. I enlighet med Figur uppstår den bredaste flambredden, vänd mot ett exponerat material i läget precis innan den slocknade arean når fram till en sektionsgräns. Detta föranleder att den maximala spridningslängden utgörs av en sektionslängd plus flamdjupet (35 m + 8 m).

*Figur A3. Läge då flamfronten når sin maximala bredd.*

Den maximala flambredden är således något smalare än den brinnande areans bredd, men för att nyttja konservativa värden antas flambredden, vänd mot det exponerade materialet vara lika med den brinnande areans bredd.

Aktuell vindstyrka antas konservativt till 7,0 m/s[3].

Utifrån antagen vindstyrka kan L/B-faktor hämtas ur Tabell 1 (tabell 14 i huvudrapport). L/B-faktor vid vindstyrka på 7,0 m/s är 4,9.

*Tabell A1. Flambasens area och L/B-faktor vid olika vindstyrkor*

| Flambasens area vid bränsletypen gräs($m^2$) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vindstyrka (m/s) | | | | | | | | | | |
| Spridnings-avstånd | 0 | 1,4 | 2,8 | 4,2 | 5,6 | 7,0 | 8,3 | 9,7 | 11,1 | 12,5 | 13,9 |
| 25 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | <1000 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | <1 000 | < 1 000 | < 1 000 |
| 50 | 2 000 | 1 000 | 1 000 | <1 000 | <1000 | <1 000 | <1 000 | < 1 000 | < 1 000 | < 1 000 | < 1 000 |
| 100 | 10 000 | 3 000 | 2 000 | 2 000 | 2000 | 2 000 | 1 000 | 1 000 | 1 000 | 1 000 | 1 000 |
| L/B | 1 | 2,3 | 3,2 | 3,5 | 4,4 | 4,9 | 5,3 | 5,7 | 6,1 | 6,4 | 6,8 |

Tillsammans med L/B-faktor och spridningsavståndet kan flammans bredd beräknas.

Flammans bredd= spridningsavstånd/ (L/B-faktor) -> (35+8) /4,9 = 8,78 m

[3] Utförd litteraturstudie visar att utifrån data över vindhastigheter under året 2015 kan en medelvind baserad på tre orter spridda över Sverige beräknas till ungefär 3 m/s samt en vindhastighet vid datamängdens 90:e percentil till ungefär 6 m/s.

d. *Beräkna brandens intensitet*
Brandens intensitet beräknas med hjälp av ekvation 2.

Följande indata används vid beräkningarna:
H = 18 000 kJ/kg (antaget utifrån resonemang i avsnitt 4.4.1)
w = 0,75 kg/m$^2$ (antaget utifrån resonemang i avsnitt 4.4.1)
r = 0,2 m/s (utifrån beräkningar i punkt 1a)

Intensitet (I) = 18 000 × 0,75 × 0,2 = 2 700 kW/m (flambredd)

*Beräkna flamhöjd*
Flamhöjden ($L_f$) kan beräknas med hjälp av ekvation 3.

$L_f = 0{,}0775 \times 2\,700^{0{,}46} = 2{,}9$ m

2. Beräkna utfallande strålning
Utfallande strålning beräknas med ekvation 4.

Följande indata används vid beräkningarna:

T =700 °C (973 K) i enlighet med [48]
$\varepsilon$ = 0,7 för sotande bränslen enligt [45]
$\sigma = 5{,}67 * 10^{-8}$ W/m$^2$K$^4$

Utfallande strålning = $5{,}67 \times 10^{-8} \times 0{,}7 \times 973^4 = 35{,}6$ kW/m$^2$

3. Anta/beräkna kritiskt infallande strålning
Intilliggande material antas utgöras av en intilliggande takyta.

Kritiskt infallande strålning antas till 15 kW/m$^2$ enligt brandspridning mellan byggnader i BBRAD.

4. Beräkna skyddsavstånd till mottagande yta
Utifrån den framräknade flamarea som är vänd mot det exponerade materialet kan den infallande strålningen vid detta beräknas. Med acceptanskriterium definierat till 15 kW/m$^2$ enligt ovan tas således ett skyddsavstånd fram i enlighet med metod ur *An Introduction to Fire Dynamics* [45]. Denna beräkningsmetodik bestämmer, genom framtagande av synfaktorn, hur stor del av den utgående strålningsenergin som når en punkt i ett definierat läge relativt flamman.

Stålningsberäkningen utgår från indata enligt tidigare punkter:
Flamhöjd: 2,9 m
Flambredd: 9 m
Utfallande strålning: 35,6 kW/m$^2$
Utifrån dessa strålningsberäkningarna kan det konstateras att ett den mottagande punkten på ett avstånd om 2,7 meter ej exponeras för strålningsnivåer över 15 kW/m$^2$. Framräknad synfaktor blir i detta fall 0,42.

5. Flammans utböjning
   För att ta hänsyn till flammans utböjning till följd av vinpåföring, och därmed även till risken för flamspridning genom direkt flamkontakt med det exponerade materialet beräknas flammans utböjning med ekvation 5 och 6.

   Följande indata används vid beräkningarna.

   Flamhöjd, H = 2,9 m (beräknat i punkt 1 e)

   $u_0$ = 7 m/s (se punkt 1 c)
   g = 9,82 m/s$^2$

   $$ø = \tan^{-1}\left(0{,}8165 \times \sqrt{\frac{7^2}{9{,}82 \times 3}}\right) \approx 46°$$

   Där vinkeln utgör förhållandet mellan flammans centrumaxel och det horisontella planet. Utifrån denna bestämda utböjningsvinkel kan man således, med geometriska samband beräkna det horisontellt projicerade utböjningsavståndet, och således det minskade skyddsavståndet, se Figur A4;

*Figur A4. Flammans utböjning som geometriskt samband.*

   Där x bestäms genom;

   Sin(44) / x = Sin(90) / 3

   Vilket resulterar i x ≈ 2,0 m

   Enligt en mycket konservativ bedömning adderas detta avstånd till det tidigare framräknade skyddsavståndet. Detta motsvarar en beräkning där hela flammans vertikalt orienterade (utan utböjning), area flyttas framåt motsvarande den längd som den vindinducerade utböjningen medför.

   Det ska noteras att detta är ett konservativt angreppssätt, och bedöms ge resultat med goda säkerhetsmarginaler.

6. Korrigera skyddsavstånd med hänsyn till flammans utböjning
   Det ska från aktuell yta med grönt tak finnas ett skyddsavstånd om minst 4,7 m till intilliggande takyta för att förhindra att brandspridning uppstår mellan ytorna.

### Resultat

Beräkningen visar att för en brand enligt förutsättningarna som anges ovan ger ett skyddsavstånd på cirka 4,7 meter till intilliggande takyta för att förhindra vidare brandspridning. Observera att det har här antagits att intilliggande takyta klarar strålningsnivåer på 15 kW/m$^2$ utan att antända. Det bör även observeras att storleken på sammanhängande takyta i detta exempel endast är ett exempel och kan inte per automatik antas uppfylla kraven som ställs i BBR.

BRANDSKYDDSLAGET

Brandskyddslaget
P.O. Box 9196
SE-102 73 Sverige
brand@brandskyddslaget.se
www.brandskyddslaget.se
Telephone: +46 8 588 188 00

OUR SPONSORS & PARTNERS:

Brandforsk

RI.
SE

## RAPPORTER UTGIVNA AV BRANDFORSK 2017:

**2017:1** **Fire stops in buildings**

**2017:2** **Verification, validation and evaluation of FireFoam as a tool of performance design**

**2017:3** **Fire Safety of Facades**

**2017:4** **Framgångsfaktorer vid bostadsbränder - sammanfattningsrapport**

**2017:5** **Gröna Tak - Ur brandteknisk synvinkel**

**1979 bildades Brandforsk som svar på behovet av ett gemensamt organ för att initiera och finansiera forskning och utveckling inom brandsäkerhetsområdet.**

Brandforsk är statens, försäkringsbranschens och industrins gemensamma organ för att initiera, bekosta och följa upp olika slag av brandforskning.

Huvudman för Brandforsk är Brandskyddsföreningen och verksamheten leds av en styrelse och bedrivs i form av projekt vid universitet och högskolor, forskningsinstitut, myndigheter och företag.

Brandforsk

Årstaängsvägen 21 c
Box 472 44, 100 74 Stockholm
Tel: 08-588 474 14
brandforsk@brandskyddsforeningen.se