

Örtsedumtak

**En kartläggning av ett örtsedumtaks
brandegenskaper och utformning med
avseende på brand**

Alexander Elias

Daniel Håkansson

Brandteknik

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Fire Safety Engineering

Lund University

Sweden

Rapport 5531, Lund 2016

Examensarbete på civilingenjörsutbildningen i riskhantering

Örtsedumtak

**En kartläggning av ett örtsedumtaks brandegenskaper och
utformning med avseende på brand**

**Alexander Elias
Daniel Håkansson**

Lund 2016

Örtsedumtak

En kartläggning av ett örtsedumtaks brandegenskaper och utformning med avseende på brand

Herb sedum roof

A mapping of a herb sedum roof's fire properties and design in regard to fire

Alexander Elias

Daniel Håkansson

Report 5531

ISRN: LUTVDG/TVBB--5531--SE

Number of pages: 106

Illustrations: Alla bilder nedan är författarnas egna, om inte annat anges

Keywords

Extensive green roof, green roof, roof fire, fire spread, fuel moisture content, NT Fire 006, ENV 1187, combustible roof covering, herb sedum roof

Sökord

Extensivt grönt tak, gröna tak, takbränder, brandspridning, bränslefukthalt, NT Fire 006, ENV 1187, brännbar taktäckning, örtsedumtak

Abstract

Green roofs are becoming increasingly more popular due to the fact of their many benefits. The aim of this report is to investigate the level of fire safety in extensive green roofs, which includes a variety of sedum, herbs and grass, in urban environments. Research is also done to clarify which parameters are affecting fire spread on extensive green roofs and to which extent. The objective was to present strategies and measures to lower the risk of ignition and flame spread. The report was conducted through a literature study on the subject extensive green roofs in addition with two different experiments investigating fire spread and vertical temperature influence in the case of a fire in extensive green roofs. It was concluded that the risk for a substantial fire spread in extensive green roofs was low and largely dependent on the level of moisture in the material. Furthermore, the tests implied that such a roof covering (including growing medium) provided sufficient fire protection to the underlying layers.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet,

Lund 2016.

Avdelningen för Brandteknik

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 Lund

Division of Fire Safety Engineering

Faculty of Engineering

Lund University

P.O. Box 118

SE-221 00 Lund

Sweden

Förord

Detta examensarbete är en del av kursen Examensarbete – brandteknik VBRM 10 och utgör avslutande del av civilingenjörsutbildningen i riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och utförs under höstterminen 2016. Rapporten är framtagen i samarbete med Brandskyddslaget AB.

Författarna vill tacka följande personer för värdefull information, åsikter och goda råd som bidragit till, och format denna rapport.

LTH, avdelningen för brandteknik

Patrick van Hees – Professor och Avdelningschef
Stefan Svensson - Universitetslektor
Dan Madsen – Doktorand

Brandskyddslaget AB

Axel Mossberg – Brandingenjör och Civilingenjör i Riskhantering (LTH)
Jennie Lövgren Forslund – Brandingenjör (LTU)

VegTech AB

Bengt-Erik Karlgren – VD

Och sist, men inte minst...

Examensarbetskamrater

Summary

The following report is produced within the scopes of the authors master's thesis at the Fire Safety Engineering program as well as the Risk management and safety engineering program at Lund University. The report addresses green roof constructions, more specifically the type extensive green roofs (Swedish translation - örtsedum) and focuses on the following issues:

- What are the fire characteristics of an extensive green roof in an event of fire?
- Does the usage of extensive green roofs contribute to an increased risk of fire spread in urban environments?

The aim of the report is thus, regarding the above issues, to evaluate extensive green roofs from a risk perspective. Furthermore, the aim of the report is to identify the risk of substantial fire spread on roofs in Sweden given an increased usage of this type of roof coverings.

In regard to this the structure of the report follows the steps of the risk management process and is constructed by the following sub processes: Premises, Risk- and vulnerability identification, Risk assessment, Risk rating and evaluation.

Green roof coverings have become more and more relevant within the construction industry throughout the last decade and the demand for this type of roof covering is increasing. This reflects to the increased sustainability awareness which has become a greater trend in almost every sector in society

An extensive green roof is generally constructed by several different layers with their own unique function and material properties. The market offers a great range of different products but the buildup is typically the same, and as follows from the structural support and up: On the structural support a water proofing layer is installed, followed by a root protection board, drainage layer, water storage layer, growing medium and lastly the plants.

Today there is no existing Swedish standard or best-practice on how to design and implement green roofs. With reference to this lack of regulations, international standards and guidelines concerning green roofs are identified and assessed. These guidelines cover factors such as, fraction of organic material in the medium, safety distances and sectioning of the roof area.

In addition to this the current Swedish fire testing method for roof coverings, ENV 1187 test 2 is assessed. Conclusions from this assessment shows that the test tends to generate slightly misleading assessments of the materials regarding fire resistance. This due to the test not being properly designed for this kind of roof covering.

Based on the studies of the vegetation's fuel properties along with performed experiments, the properties of the green roof vegetation could be further analyzed. The experiments consisted of two sets of testings, where the first aimed to investigate the temperature profile through the growing medium when affected by heat radiation and the second test aimed to investigate the risk of wind-induced fire spread on an extensive green roof.

The results show that there is a very low risk that layers under the growing medium can reach critical temperatures due to heat radiation. Furthermore, the results from the fire spread test indicate a low risk for substantial fire spread on extensive green roofs.

Sammanfattning

Följande rapport är framtagen inom ramarna för författarnas examensarbete vid brandingenjörsprogrammet samt riskhanteringsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Rapporten behandlar gröna takkonstruktioner av typen örtседum och tar avstamp i följande frågeställningar:

- Hur beter sig ett grönt tak av typen örtседumtak vid händelse av brand?
- Ger gröna tak av typen örtседum upphov till risk för brandspridning i urbana miljöer?

Syftet med examensarbetet är alltså att utifrån ovanstående frågeställningar utvärdera taktäckning av örtседum ur ett riskperspektiv. Målet med rapporten är att kartlägga risken för omfattande brandspridning på tak i Sverige om denna typ av taktäckning skulle tillämpas i större omfattning.

I och med detta utgår rapportens struktur från strukturen i riskhanteringsprocessen och är uppbyggd av följande övergripande delprocesser: Utgångspunkter, Risk- och sårbarhetsidentifiering, Riskbedömning, Riskvärdering och utvärdering.

Gröna taktäckningsalternativ är något som blivit mer och mer aktuellt inom byggbranschen under det senaste decenniet och efterfrågan på taktäckning av typen örtседum är växande. Detta speglar det ökade hållbarhetstänkande som idag har blivit en stor del av i det närmsta samtliga sektorer i samhället.

Ett örtседumtak är generellt sett uppbyggt av ett antal lager med varierande funktion och specifika materialegenskaper. Idag finns ett antal olika produkter på marknaden, men i stort kan takets uppbyggnad sammanfattas, från bjälklag och uppåt, enligt följande: Direkt på bjälklaget ligger ett tätskikt, därefter följer ett rotskyddsskikt. Ovanpå detta följer i tur och ordning, ett dränerande skikt, ett vattenmagasinerande skikt, jordsubstrat och sist vegetation bestående av sedum, gräs och örter av varierande arter.

Det finns idag ingen gällande standard, eller best-practice, kring hur utformning och anläggning av ett grönt tak ska se ut i Sverige. Med anledning av detta kartläggs andra länders befintliga riktlinjer rörande gröna tak. Dessa riktlinjer berör exempelvis faktorer som andel organiskt material i jordsubstratet, skyddsavstånd till vertikalt uppstickande element och brandsektionering av den gröna takytan.

Utöver detta analyseras även den provningsmetod enligt ENV 1187, test 2 som idag används i Sverige för att brandprova taktäckning. Slutsatser från denna analys landar i att testet genererar aningen missvisande bedömningar, då det inte är konstruerat för att kunna prova brandegenskaperna för taktäckningsmaterial av organisk karaktär med vertikalt uppstickande element.

Utifrån studier på vegetationens bränleegenskaper tillsammans med utförda försök kunde taktäckningens egenskaper vid brand närmare bestämmas. Försöken utgjordes av två försöksserier, där en syftade till att undersöka värmepåverkan genom jordsubstratdjupet vid strålningspåverkan och det andra syftade till att undersöka brandspridningsrisken över takytan under vindpåverkan.

Resultaten påvisar att det föreligger väldigt låg risk för att strålningspåverkan från en brand kan utsätta underliggande skikt för kritiska temperaturer vid de substratdjup som undersökts. Vidare kan det, utifrån resultaten för spridningsförsöken, antas vara låg risk för uppkomst av brand till följd av flygbrand och gnistor.

Innehållsförteckning

FÖRORD	III
SUMMARY	V
SAMMANFATTNING	VII
1. INLEDNING	1
1.1 Syfte och mål.....	1
1.2 Frågeställningar.....	1
1.3 Metod.....	1
1.4 Rapportstruktur.....	2
1.5 Avgränsningar och begränsningar	3
2. BRÄNNBAR TAKTÄCKNING I URBANA MILJÖER UR ETT RISKPERSPEKTIV	5
2.1 Vad är risk?.....	5
2.2 Riskhanteringsprocessen.....	5
3. RISK- OCH SÅRBARHETSIDENTIFIERING	7
3.1 Risker med gröna taktäckningar ur ett samhällsperspektiv	7
3.2 Brandrisker med örtsedumtak.....	7
4. LITTERATURSTUDIE	11
4.1 Bakgrund	11
4.2 Örtsedumvegetationens brandegenskaper	16
4.3 Provning av taktäckning och brandklassificering.....	30
4.4 Standarder och riktlinjer ur ett internationellt perspektiv.....	34
4.5 Sammanställning och diskussion av litteraturstudie	38
5. SCENARIOANALYS – BRAND I ÖRTSEDUMTAK	41
5.1 Scenario 1 - Genombränning.....	41
5.2 Scenario 2 - Spridning	41
6. FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING	43
6.1 Avgränsningar och begränsningar	43
6.2 Materialspecifikation.....	43
6.3 Genombränning och antändning	45
6.4 Spridning	48
7. RESULTAT	53
7.1 Genombränning och antändning	53
7.2 Spridning	56
8. ANALYS AV RESULTAT OCH RISKBEDÖMNING	61
8.1 Konsekvensbedömning.....	61
9. RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER	63
10. DISKUSSION	65
10.1 Försök och försöksuppställning	65

10.2	Dagens provningsmetod - ENV 1187, test 2.....	68
10.3	Att applicera resultat från studien på verkligheten	69
11.	SLUTSATSER.....	73
12.	FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA FORSKNING.....	75
	LITTERATURFÖRTECKNING.....	77
	BILAGA A – GENOMBRÄNNING	81
	BILAGA B – SPRIDNING	91

1. Inledning

Gröna taktäckningsalternativ är något som blivit mer och mer aktuellt inom byggbranschen under det senaste decenniet och efterfrågan på taktäckning av typen örtседum är växande. Detta speglar det ökade hållbarhetstänkande som idag har blivit en stor del av i det närmsta samtliga sektorer i samhället. Trots detta ökande intresse finns dock få svenska vägledningar eller riktlinjer för hur denna typ av brännbar taktäckning ska utformas utan att avkall på tillfredställande brandskydd behöver göras. Då denna problematik fortfarande kan anses vara ganska ny, och ingen gängse praxis ännu finns så uppstår oklarheter och svårigheter vid anläggning av taktäckning av örtседum. Detta resulterar i att brandskyddet för specifika objekt utvärderas *ad hoc* och från fall till fall. Således kan resultaten av dessa brandriskbedömningar variera mycket. Denna rapport är tänkt att utgöra en övergripande riskanalys av brandrisker förknippade med användande av taktäckning av typen örtседum. Som delsteg i denna riskanalys utreds både risker med omfattande brandspridning på tak ur ett samhällsperspektiv och örtседumtaktäckningens egenskaper vid brand.

I samband med denna riskanalys undersöks även dagens aktuella provningsmetoder av taktäckning, samt internationella förhållningssätt till brandskydd vid anläggning av gröna tak.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att utvärdera brännbar taktäckning av typen örtседum ur ett riskperspektiv. För att uppnå detta syftar rapporten även till att kartlägga brännbarhet och antändlighet i en vanlig typ av örtседumkonstruktion.

Målet med rapporten är att kartlägga risken för omfattande brandspridning på tak i Sverige om denna typ av taktäckning skulle tillämpas i större omfattning.

1.2 Frågeställningar

Med anledning av ovanstående syfte och mål har följande två frågeställningar utformats och legat till grund för rapporten.

- Hur beter sig ett grönt tak av typen örtседumtak vid händelse av brand?
- Ger gröna tak av typen örtседum upphov till risk för brandspridning i urbana miljöer?

1.3 Metod

Nedan återges en kort beskrivning kring rapportens olika faser och vad dessa innebär.

1.3.1 Initieringsfas

I initieringsfasen fastställdes ramarna för examensarbetet. Detta gjordes i samråd med både extern handledare från Brandskyddslaget och med intern handledare från LTH. Här definierades arbetets frågeställningar, syfte och mål samt tidsplan. Arbetet i initieringsfasen resulterade i upprättande av ett måldokument som i grova drag beskriver upplägget och arbetsgången för examensarbetet.

1.3.2 Riskidentifiering

I denna fas identifierades och undersöktes möjliga risker med användandet av taktäckning av örtседum. Resterande delar av examensarbetet grundade sig således på de risker som kunnat identifieras i denna fas.

1.3.3 Litteraturstudie

I efterföljande fas genomfördes en litteraturstudie. Denna litteraturstudie utfördes inom två skilda områden, dels för att undersöka de materialspecifika brandegenskaperna hos de material som ingår i sammansättningen av ett örtsedumtak, och dels för att undersöka hur rådande standarder och riktlinjer för gröna tak hanterar brandproblematiken kring anläggning av sådana. I denna fas användes följande sökkkanaler:

- Forskningsrapporter
- Artiklar publicerade i vetenskapliga tidskrifter
- Gamla examensarbeten
- Internationella standarder och riktlinjer för gröna tak
- Produktdata från leverantörer av gröna tak
- Handböcker och författning enligt Boverkets Byggregler, fortsättningsvis förkortat BBR
- Handböcker för bekämpning av vegetationsbränder
- Hand- och läroböcker i brandteknik

De sökord som använts vid litteratursökning via litteraturlatabaser är följande:

Green roofs, benefits green roofs, green roof standards, green roof guidelines, fire wind spread, fire safety green roofs, rate of spread vegetation fire, gröna tak, brandskydd gröna tak, extensiva tak brand, örtsedumtak.

1.3.4 Försök och riskbedömning

För att kunna verifiera de slutsatser som litteraturstudien resulterade i och för att kunna uppskatta brandriskerna med användandet av örtsedumtaktäckningen genomfördes provningar på provkroppar av örtsedumtak. Dessa provningar inriktade sig på att undersöka problematik kring genombränning av taktäckningen och även horisontellt spridningsavstånd för brand i vegetationen på ett örtsedumtak.

1.3.5 Diskussion och slutsatser

Utifrån erhållna resultat från försöken, tillsammans med slutsatser från litteraturstudien gjordes en bedömning av hur anläggning av ett örtsedumtak kan utformas för att minimera brandriskerna. Här diskuterades även några av de viktigaste ingående parametrarna och deras inverkan på försökens resultat. Slutligen samlas slutsatser från såväl litteraturstudie som försök till en samlad värdering av riskerna med användande av örtsedumtaktäckning.

1.4 Rapportstruktur

Denna rapport är upplagd enligt följande struktur:

Avsnitt 2 – Brännbar taktäckning i urbana miljöer ur ett riskperspektiv: Klarlägger brännbar taktäckning i urban miljö ur ett riskperspektiv med fokus på förklaring kring vad risk är och den allmänna riskhanteringsprocessen.

Avsnitt 3 – Riskidentifiering: Identifiering av risker förknippade med användandet av örtsedum som taktäckning. Vidare undersöks teoretiskt örtsedumtakets bidrag till brandspridning både in i, och mellan byggnader. I detta avsnitt stöter läsaren på texttrutor enligt nedan, vilka återger föreskrifter enligt gällande BBR 23.

X:yy Rubrik

Text enligt föreskrift

Allmänt råd

Text enligt allmänt råd

Avsnitt 4 – Litteraturstudie: I litteraturstudien ges en grundläggande översikt över det gröna takets historiska utveckling, ett örtsedumtaks uppbyggnad samt positiva effekter av ett grönt tak. Vidare undersöks örtsedumvegetationens egenskaper som bränsle.

Här undersöks även ett antal olika brandprovningssmetoder för taktäckning i allmänhet. Test resulterande i takmaterialklass $B_{\text{Roof}}(t_2)$ och problematiken med provning av örtsedumtak enligt denna metod beskrivs mer ingående.

Utöver detta görs en kartläggning av gällande standarder i ett antal länder i världen angående gröna tak och dess brandsäkerhet samt en sammanställning av hur ett örtsedumtak kan utformas med hänsyn till de mest internationellt konservativa riktlinjerna.

Avsnitt 5 – Scenarioanalys: Beskrivning av scenarioanalys för brand i örtsedumtak ges för att förklara bakgrunden till de försöksuppställningar som utformats senare i rapporten.

Avsnitt 6 – Försöksuppställning: Genomgång kring strukturen för rapportens två försöksuppställningar samt de ingående parametrar som undersökts.

Avsnitt 7 – Resultat: Sammanställning av erhållna resultat från de två genomförda försöken.

Avsnitt 8 – Analys av resultat och riskbedömning: Analys av resultat och riskbedömning grundad i litteraturstudie och resultat från försök.

Avsnitt 9 – Riskvärdering och riskreducerande åtgärder: Sammanvägning av framtagna sannolikheter och konsekvenser utifrån riskbedömningen. Här presenteras även riskreducerande åtgärder baserade på försök och internationella standards och riktlinjer.

Avsnitt 10 – Diskussion: Diskussion av rapportens olika delar. Bland annat förklaring kring försöksuppställningarna och val av ingående parametrar och deras påverkan på försöken, även kring gällande provningssmetoder i Sverige och hur rapportens studie kan appliceras på verkligheten.

Avsnitt 11 – Slutsatser: Rapportens slutsatser.

Avsnitt 12 – Förslag på framtid forskning: Förslag på framtida forskning på området gröna tak och brandskydd.

1.5 Avgränsningar och begränsningar

Denna rapport avser enbart behandla gröna tak av typen örtsedumtak ur perspektivet brandrisk och brandspridning. Andra typer av gröna tak och takträdgårdar kommer således inte att behandlas.

Då det finns en mängd variationer på utformningar av gröna tak kommer denna rapport enbart fokusera på den typ som här definieras som örtsedumtak. Den tänkta typen av grönt tak kan falla inom de båda kategorierna extensivt- och semiintensivt grönt tak, beroende på vilken definition man väljer att utgå ifrån. Dessa uttryck dyker upp i rapporten, och syftar alltså på tak av typen örtsedum.

Försöksuppställningar i rapporten utformas och anpassas utifrån parametrar kopplade till Sverige och det svenska klimatet.

2. Brännbar taktäckning i urbana miljöer ur ett riskperspektiv

Att uppföra byggnader med brännbar taktäckning medför per definition en ökad risk för brandspridning i jämförelse med taktäckningar av obrännbart material. I och med detta ökar även risken för scenarion med mer omfattande brandspridning, takbränder med flera byggnader involverade och snabbare spridningsförlopp. Ur detta perspektiv är det viktigt att undersöka hur anläggning av brännbara taktäckningar i form av örtsedumtak bidrar till ett samhälles riskbild. Då det finns väldigt ont om data över brandfrekvenser i gröna tak kommer analysen i denna rapport inte att kunna genomföras som en direkt kvantitativ analys, där brandfrekvenser och konsekvenser viktas mot varandra. Istället genomförs riskanalysen rörande örtsedumtak och brandrisk som en mer detaljerad studie där ingångsdata tas fram, dels utifrån specifika materialegenskaper och dels genom tester utförda på taktäckningsprover av örtsedum. Vid analysen av taktäckningens brandmotstånd kommer det alltså att utgå från att en tändkälla finns närvarande och analysen av sannolikhet och konsekvens av brandspridning utgår således från örtsedumets materialspecifika egenskaper som sådana. Utifrån dessa data görs sedan en riskbedömning avseende brandspridning in i byggnad och brandspridning mellan byggnader.

2.1 Vad är risk?

För att kunna göra en bedömning av huruvida taktäckning av örtsedum bidrar till riskbilden i urbana miljöer eller ej måste vi först definiera vad vi avser när vi talar om ökad eller minskad risk och hur vi går till väga när vi bedömer risken. Enligt den definition som ges av Kaplan och Garrick (1981) kan en risk kvantifieras utifrån tre frågor; den så kallade risktripletten:

- Vad kan hända?
- Hur stor är sannolikheten?
- Vad blir konsekvensen?

Utifrån dessa tre frågor kan man alltså i ett fördefinierat system identifiera ett riskscenario, analysera sannolikheten att scenariot inträffar och de potentiella konsekvenser ett sådant scenario skulle få på systemet. På så sätt kan man genom viktning av dessa faktorer ta fram ett riskmått på hur stor risken förknippat med det givna scenariot är (Kaplan & Garrick, 1981).

Vid skrivandet av denna rapport finns, som ovan nämnt inte tillräcklig data över olycksstatistik i form av bränder i örtsedumtak tillgänglig. Därför måste riskanalysen av örtsedumtaks brandfarlighet analyseras genom att svar på ovanstående frågor tas fram genom kvalitativa resonemang utifrån förutsättningar och materialegenskaper tillsammans med data från mindre försök. De frågor vi söker svar på, baserat på Kaplan och Garrick's (1981) risktripplet är således:

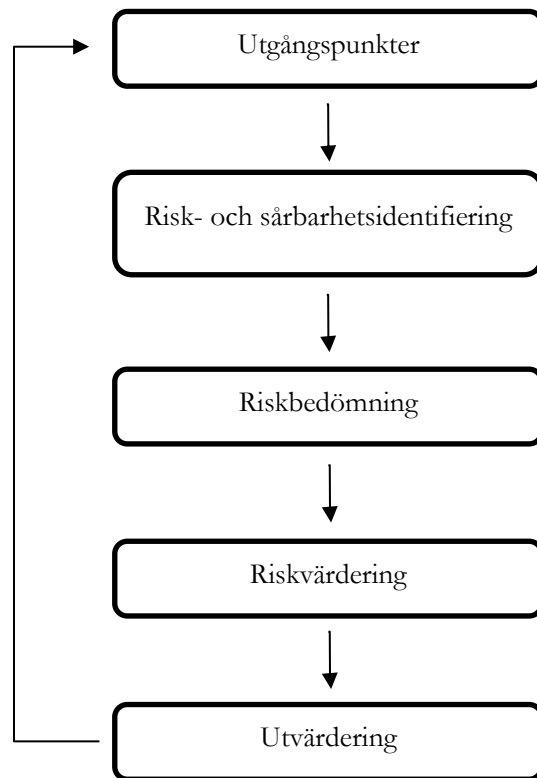
- Hur ser ett brandscenario i ett örtsedumtak ut?
- Hur stor är sannolikheten för att antändning av taket ska ske?
- Vilka konsekvenser får en brand i taktäckningen?

För att kunna besvara dessa frågor, och därigenom också kunna analysera risken med örtsedumtak i urbana miljöer utgår rapportens angreppssätt från riskhanteringsprocessens struktur, förklarad mer ingående nedan.

2.2 Riskhanteringsprocessen

En riskanalys utgör en del av hela riskhanteringsprocessen och på så vis kan det vara av vikt att få en bild av denna för att få bättre förståelse för den ingående riskanalysen. Riskhanteringsprocessen är som nämnt den fullständiga processen som utgår från specifikt valda utgångspunkter vidare genom riskidentifiering, riskbedömning och riskvärdering. Resultat och slutsatser bearbetas sedan genom riskbehandling där beslut tas om fortsatt arbete, planer, åtgärder mm. Riskhanteringsprocessen ska vara en systematiskt iterativ process som strukturerat genomarbetas för att nå ett bra resultat (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2011).

Nedan i Figur 1 ges en illustration av hur den iterativa processen kan se ut.



Figur 1. Schematisk bild av riskhanteringsprocessen.

Riskhanteringsprocessen inleds utifrån ett antal utgångspunkter där ramarna för arbetet struktureras. Det inledande momentet är av stor vikt eftersom det innefattar analysens omfattning, syfte och mål. Dessa delmoment är viktiga för att arbetet ska kunna ske effektivt och avgränsningar medför att arbetet kan preciseras. Det medför även att arbetet utförs med god validitet, alltså att arbetet leder fram till det man vill undersöka.

När grundparametrarna fastställts inleds nästa moment, risk- och sårbarhetsidentifieringen. Detta moment innefattar identifiering, analys och utvärdering av de risker som är kopplade till den riskbild och de rammar som är valda i föregående fas.

Då riskerna arbetats fram och relevanta risker sammanställts går processen in i nästa fas, riskbedömningen. I denna fas bedöms riskens storlek utifrån konsekvens- och riskskattning baserad på fakta. Denna del av riskhanteringsprocessen tjänar alltså till att ta fram ett mått på riskens storlek.

Då dessa tre delprocesser avverkats kan informationen leda vidare till en värdering av risken. Här vägs den framtagna riskens storlek mot nyttan och de rimliga säkerhetsåtgärder som kan vidtas för att begränsa risken.

Utifrån riskvärderingen utvärderas sedan arbetsprocessen och frågan om riskerna är acceptabla eller ej ställs. Utifrån svaret på denna fråga avslutas antingen processen, eller börjar om från början och itereras vidare till dess att risken anses vara acceptabel.

3. Risk- och sårbarhetsidentifiering

I nedanstående kapitel undersöks riskbilden vid användande av örtsedumtak dels ur ett bredare samhällsperspektiv och dels ur ett mindre perspektiv där den enskilda byggnaden är i fokus. Detta görs för att skapa en övergripande bild över var riskerna i användande av örtsedum som taktäckning finns och vilka problem som bör beaktas vidare i rapporten.

3.1 Risker med gröna taktäckningar ur ett samhällsperspektiv

I frågan om örtsedumtaktäckningens bidrag till en ökad sårbarhet på en samhällelig nivå utgås det från att en sådan typ av taktäckning är brännbar. Detta medför i sig även att användandet av taktäckningen således medför en ökad riskbild för byggnaden i sig och för individerna som kan väntas vistas i byggnaden. Med bakgrund i detta bör en extra tanke skänkas till hur man i den fysiska planeringen har möjlighet att reglera användandet av brännbara taktäckningar på byggnader med särskilt viktig samhällsfunktion.

Enligt Plan- och bygglagen (SFS 2010:900) finns krav på kommuners risk- och sårbarhetsarbete inom kommunområdet. Detta innefattar kommuners arbete med översikts- och detaljplaner och hänsyn till risk för olyckor i planarbetet och den fysiska planeringen. En parallell kan här dras till den hänsyn man tar till översvämningsrisker vid fysisk planering. I en rapport av Mellansveriges länsstyrelser skriver man att riskobjekt och samhällsfunktioner av betydande vikt endast bör lokaliseras till områden som inte hotas av 100-årsflöde eller högsta dimensionerande flöde (Länsstyrelserna, 2006). Vidare specificeras denna typ av verksamheter som offentliga byggnader i form av exempelvis sjukhus, vårdhem, skolor, VA/avfallsanläggningar, el-/teleanläggningar med flera. Dessa är alla verksamheter som på ett eller annat vis kan kategoriseras som nödvändiga för att upprätthålla de samhällsviktiga funktioner som dagens moderna samhälle vilar på. Genom att tillåta att dessa verksamheter förläggs till markområden med översvämningsrisk ökar man också samhällets sårbarhet. Samma resonemang går att applicera på problematiken kring örtsedumtak och brandskydd. Genom att anlägga örtsedumtak på exempelvis samtliga sjukhus i en region ökas sårbarheten mot omfattande brandspridning, med en kollapsad sjukvård som möjlig konsekvens. Detta givet att brand på ett tak av örtsedumtyp kan ge upphov till så pass stora skador på byggnaden och dess verksamhet att denna inte kan fortgå som normalt (exempelvis genom omfattande rökspridning, försvagande eller förstörande av bärverkskonstruktion etc.).

I länder som exempelvis Kanada, Tyskland och Danmark har man, på motsvarande kommunal nivå, reglerat hur stora arealer av tak som ska uppföras som gröna tak (Office of the Chief Building Official, 2013; Ansel & Appl, 2012). Utöver dessa generella krav i den fysiska planeringen nämns även mer specifika krav som exempelvis att samtliga offentliga byggnader med de rätta förutsättningarna, eller samtliga större industrilokaler ska uppföras med någon form av grönt tak (Office of the Chief Building Official, 2013; Ansel & Appl, 2012). Utifrån ett sådant resonemang, tillsammans med ovanstående antagande om att brännbar taktäckning utgjord av vegetation, kan bidra till en ökad riskbild så innebär dessa lagkrav att man direkt ökar samhällets sårbarhet i jämförelse med användande av taktäckning av mindre brännbart material.

Genom historien har man kunnat konstatera att brännbara taktäckningar varit en av huvudorsakerna till en mängd omfattande stadsbränder. Efter ett flertal stora stadsbränder i Stockholm gavs 1842 års byggnadsordning ut (SFS 1842:44), i vilken byggnader med brännbar taktäckning (e.g. halm- och stråtak) förbjöds inom stadens tullar. De brännbara taken ansågs på den tiden alltså utgöra en oacceptabelt stor risk för samhället och dess funktion och byttes därför ut mot icke-brännbara tak. Denna byggnadsteknik har sedan dess varit den förhärskande under lång tid, men nu börjar trenden återigen vända då de gröna taken vinner mer och mer mark. Frågan är dock om denna nya typ av brännbar taktäckning fortfarande kan anses bidra med ökad risk för samhällets funktion eller om vi genom byggnadstekniska framsteg har lärt oss hur vi ska hantera de problem som en brännbar taktäckning för med sig?

3.2 Brandrisker med örtsedumtak

Att brännbar taktäckning på en byggnad kan innebära ökad risk för brandspridning säger mer eller mindre sig självt. Enligt BBR finns det två typer av brandspridning som bör beaktas och förhindras, brandspridning inom byggnad och brandspridning mellan byggnader. I följande stycken tas denna problematik upp och kopplas till brandriskerna förknippade med taktäckning av örtsedum.

3.2.1 Spridning in i byggnad

Den första typen av brandspridning, gällande spridning av brand via taktäckning och in i byggnad behandlas inte specifikt i BBR. Den enda paragraf i författningen som i viss mån berör denna problematik presenteras nedan:

5:56 Skydd mot omfattande brandspridning

5:561 Allmänt

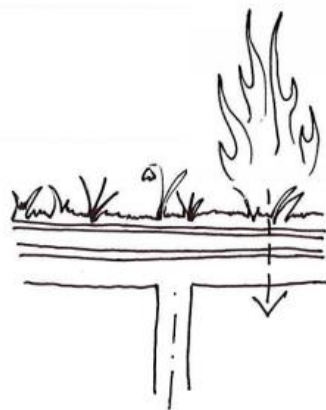
Stora byggnader ska utformas så att omfattande brandspridning inom byggnad begränsas. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

För att begränsa omfattande brandspridning i stora byggnader bör dessa utformas med brandceller, brandsektioner, brandtekniska installationer eller kombinationer av dessa. Vid bedömning av risken för brandspridning bör hänsyn tas till brandbelastning.

Denna del av författningen gäller egentligen inte spridning genom taket och ner till brandcellen, utan snarare spridning från en brandcell till en annan. Detta skulle kunna tänkas ske genom brandspridning inifrån, genom taket eller via fönster och därifrån vidare ner till nästa brandcell. I viss mån kan detta scenario tänkas vara relevant för denna rapport, men huvudproblematiken (dvs. brandspridning från brand i taktäckningen och in i brandcell) behandlas inte direkt i författningen. Rent krasst så accepterar man alltså brandspridning från tak och ner till underliggande brandcell, så länge branden inte kan sprida sig vidare därifrån. Författningen skulle heller inte beröra problematik med brandspridning genom tak in i byggnader som enbart utgörs av en stor brandcell. Det bör även tilläggas att kravet om $B_{\text{roof}}(t_2)$ gäller alla byggnader med area större än 15 m², vilket innebär att en brandriskanalys måste göras så fort ortsedumtaktäckning ska användas oavsett byggnad och avsteg från BBR behöver göras.

Även om detta inte direkt berörs i BBR är det scenario som är mest relevant för syftet med denna rapport således brandspridning från taktäckning och in i byggnaden genom takbjälklaget (se Figur 2). Scenariot blir emellertid det samma oavsett om branden startat i intilliggande brandcell och sedan spridit sig genom bjälklaget upp på taket och ner igen, eller om branden startat till följd av yttre brandpåverkan.



Figur 2: Brandspridning in i byggnad.

Enligt denna princip måste taktäckningen inneha antingen sådant brandmotstånd att en brand inte kan spridas över taktäckningen, alternativt ha sådana isolerande egenskaper att takgenombränning från brand i taktäckningen inte kan ske.

3.2.2 Spridning mellan byggnader

Den andra typen av brandspridning, gällande spridning av brand från en byggnad till en annan behandlas i BBR enligt följande:

5:61 Allmänt

Byggnader ska utformas med tillfredställande skydd mot brandspridning mellan byggnader. (BFS 2011:26).

Allmänt råd

Tillfredställande skydd erhålls om byggnader uppförs med ett avstånd som överstiger 8 m. (...) (BFS 2011:26).

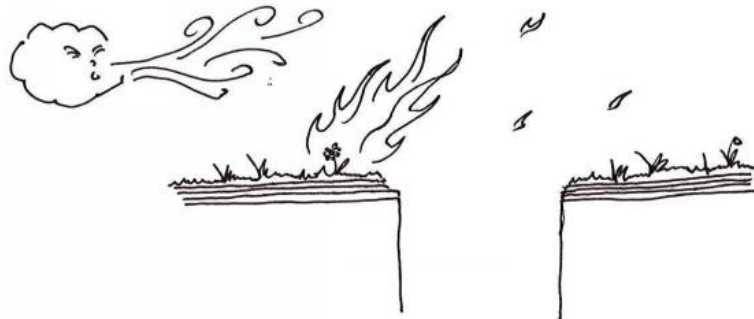
5:62 Taktäckning

Taktäckningen på byggnader ska utformas så att antändning försvåras, brandspridning begränsas samt att den endast kan ge ett begränsat bidrag till branden. (BFS 2011:26).

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 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).

De allmänna råden i dessa föreskrifter fastställer godtagbara avstånd mellan byggnader med syftet att försvåra brandspridning från en byggnad till en annan. Sådan brandspridning kan givetvis ske på ett flertal olika sätt, men ett av de mer kritiska och för denna rapport även mest relevanta är brandspridning till annan byggnad genom flygbränder eller gnistor (princip enligt Figur 3 nedan).



Figur 3: Brandspridning mellan byggnader till följd av flygbränder eller gnistor.

4. Litteraturstudie

Då det identifierats att örtsedumtak kan tänkas vara brännbara till en viss grad krävs det vidare undersökning på hur en sådan taktäckning bidrar till risk för antändning och omfattning av brandspridning vid användandet. Denna litteraturstudie är genomförd i syfte att samla aktuell litteratur och forskning för att informera och belysa området gröna tak och då specifikt örtsedumtak. Till en början undersöks taktäckningen som sådan, hur den är uppbyggd och hur takets komponenter kan tänkas agera vid händelse av brand. Därefter undersöks dagens metod för att prova taktäckningens brandegenskaper följt av en kartläggning av hur man internationellt tacklar problematiken kring gröna tak och brand.

4.1 Bakgrund

I följande avsnitt ges en kort bakgrund till de gröna takens utveckling och användning. Därefter förklaras ett örtsedumtaks principiella uppbyggnad skikt för skikt. Slutligen redogörs det för några av de incitament som ligger till grund för anläggning av gröna tak.

4.1.1 Gröna tak

Konceptet ”gröna tak” är långt ifrån någon nymodighet, utan grundar sig i en typ av takkonstruktion som har använts mer eller mindre flitigt under mycket lång tid. Enligt Dunnett och Kingsbury (2008) kan bevuxna tak spåras så långt tillbaka som till 600 f.Kr. och de babyloniska trädgårdarna. Utvecklingen av de gröna taken har sedan dess varit populär och glömts bort i perioder om vartannat. Via vägen om de svenska torparstugorna med tidstypiskt torvtak och de modernistiska takträdgårdarna under 1930-talet har konstruktionen utvecklats med tiden och har nu kommit en lång väg i frågan om tekniska lösningar och utformningar (Piga, 1995; Firu & R., 2014). De önskvärda funktionerna med bevuxna tak har dock under hela denna tid varit mer eller mindre desamma, även om man under vissa perioder framhållit funktioner som exempelvis estetik som dominerande framför övriga nyttor. Gröna tak har alltså många positiva egenskaper, så som isolerande verkan, effektivt skydd mot nederbörd och lokala temperatursvängningar etc. (Wong, Chen, Ong, & Sia, 2003; Edwards, 2014). Det är således inte konstigt att denna typ av takkonstruktion återigen är aktuell i utvecklingen av våra urbana miljöer.

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 takterrasser till tak täckta av en vegetabilisk taktäckning. För att överhuvudtaget kunna angripa de frågeställningar som denna rapport tar avstamp i, nämligen rörande hur ett grönt tak beter sig vid brand, behöver vi alltså först definiera vilken typ av takkonstruktion som är relevant att undersöka.

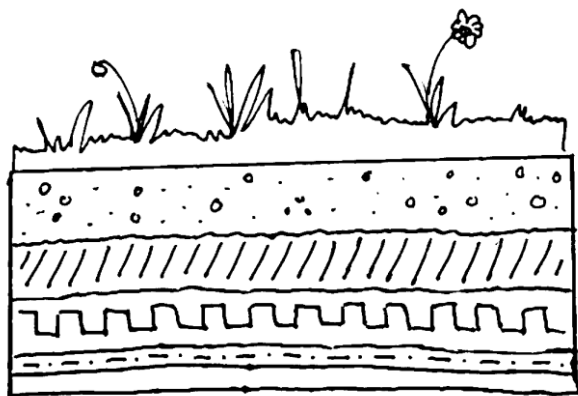
Dagens moderna gröna tak kan delas in i tre kategorier; extensiva, semiintensiva och intensiva. De är samtliga uppbyggda enligt ungefär samma principer, men skiljer sig något åt i fråga om utformning och användningsområde. I denna rapport ligger fokus, som ovan nämnt, på extensiva/semiintensiva gröna tak av typen örtsedumtak. Den generella uppbyggnaden av ett sådant tak ser från bjällklaget och upp ut enligt följande: underst ligger en skyddsmatta som fungerar som skydd för den befintliga, underliggande taktäckningen, ovanpå denna följer ett dränerande skikt med uppgift att transportera bort överflödigt vatten, därefter följer ett vattenhållande skikt, växtsubstrat och sist själva växtligheten. Uppbyggnaden beskrivs mer ingående i stycke 4.1.2 och illustreras i Figur 4. Denna uppbyggnad skiftar något utifrån platsspecifika förhållanden och det aktuella takets utformning, men principen för uppbyggnaden är densamma.

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 (Dunnett & Kingsbury, 2008).

4.1.2 Örtsedumtakets uppbyggnad

Takuppbyggnaden som studeras i denna rapport utgår från ett extensivt/semiintensivt tak. Detta då gränsen för när ett tak övergår från extensivt till semiintensivt anses vara relativt otydlig. Intressant för studien är ett tak täckt med en växtlighet bestående av en blandning av sedum-arter, gräs och örter med en växtlighet uppemot en halv meter. Detta leder till att vissa skillnader i benämning (extensivt/semiintensivt) kan förekomma i det material som är hämtat direkt från producent.

Nedan följer en beskrivning av örtsedumtakets uppbyggnad lager för lager. Lagren beskrivs utifrån dess sammansättning, brandegenskaper och funktion för det gröna taket. Se Figur 4 för en illustration av hur ett grönt tak kan vara uppbyggt.



Figur 4: Schematisk skiss över ett örtsedumtakets uppbyggnad.

Vegetation

Vegetationen på ett örtsedumtak består, precis som namnet indikerar, av en varierande blandning av suckulenter, gräs och örtplantor. Vissa producenter använder sig av prefabricerade mattor odlade på en stomme av fiberduk, plast- eller kokosfibernät, och andra väljer att istället anlägga växtligheten direkt i jordsubstratet på plats (Veg Tech AB, 2016; BG Byggros AB, 2016).

Växternas egenskaper vid brand antas variera mycket från art till art. Redan idag finns rena sedumtak som är brandtekniskt klassificerade enligt $B_{\text{Roof}}(t_2)$ standarden (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2016). Sedum är en lågväxande och fetbladig växtart med stor vattenhållningsförmåga. Av denna anledning antas sedumfraktionen av ett örtsedumtak klara de brandtekniska kraven väl. Gräs och örter som är mer högväxande och vedbildande antas utgöra en större brandrisk, framförallt för spridning via flygbränder och gnistor.

Jordsubstrat

Jordsubstratet är det medium bestående av luft, vatten, organiskt material och fyllnadsmaterial, i vilket de levande växterna växer och hämtar sin näring. Det finns ett stort antal olika jordsubstrat på marknaden med olika blandningar av mineraljord, grönkompost och oorganiska material som exempelvis tegelkross, lava och pimpsten. Lagrets tjocklek varierar beroende på takets bärande förutsättningar och vilken typ av vegetation som är planerad för det gröna taket (Bara Mineraler AB, 2016; Veg Tech AB, 2016).

Då jordsubstratet till viss del innehåller organiskt material måste det antas att detta skulle kunna brinna, förutsatt att halten organiskt material är tillräckligt hög. Restriktioner kring andel organiskt material finns i vissa standarder och lagstiftningar rörande gröna tak. Dessa presenteras mer ingående i avsnitt 4.4.

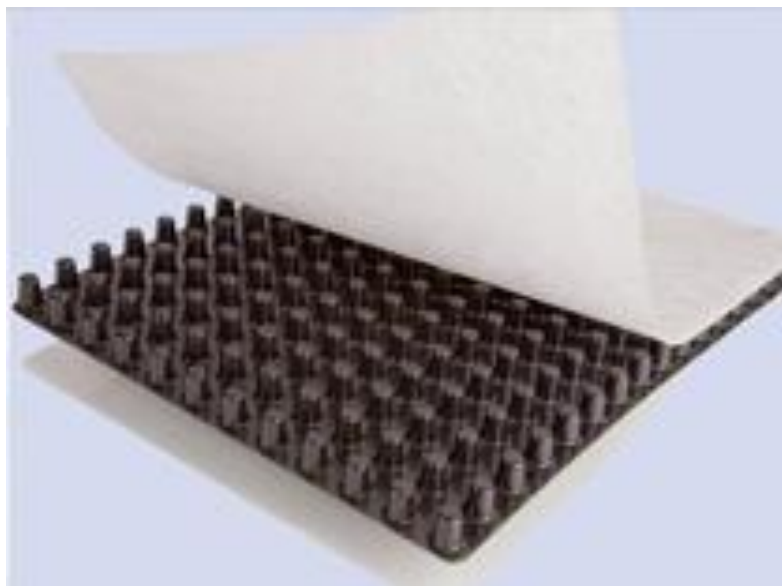
Vattenhållande skikt

I vissa typer av konstruktioner för gröna tak bygger man in ett vattenhållande skikt, vilket kan bestå av porösa fleece-liknande produkter alternativt stenull. Detta skikt har till uppgift att magasinera vatten och skapa en buffert mot snabbt förändrade förhållanden avseende växternas tillgång till vatten (Office of the Chief Building Official, 2013; Veg Tech AB, 2016).

I de fall då det vattenhållande skiktet utgörs av fleece-liknande produkter (plast) måste detta skiktet antas vara brännbart i enlighet med liknande material. Om skiktet istället utgörs av stenull anses skiktet vara obrännbart.

Dränerande skikt

Det dränerande skiktet har som funktion att leda bort överflödigt vatten, och i vissa fall även att fungera som en vattenreservoar under torrare perioder. Detta skikt kan antingen byggas upp av naturliga dräneringsmaterial, så som grus och makadam, eller av konstgjorda material som pordrän (ett poröst, frigolitliknande material) eller formpressade, profilerade mattor av exempelvis polystyren (Dunnett & Kingsbury, 2008; Veg Tech AB, 2016). De profilerade plastmattorna är utformade som en mängd sammanlänkande koppar, vilka fungerar som en vattenreserv, se Figur 5. För att säkerställa det dränerande skiktets funktion över tid är det viktigt att skydda lagret mot igensättning av småpartiklar. Detta görs med filtrerande dukar av geotextil som placeras över och under det dränerande lagret (Veg Tech AB, 2016).



Figur 5: Dränerande skikt ND220 (Veg Tech AB, 2016) (med tillstånd av Veg Tech AB).

I de fall då detta skikt utgörs av porösa frigolitliknande material antas det att skiktet är mycket brännbart. Vid anläggning med sådant material måste detta skikt snarast möjligt täckas så att brandsäkra förhållanden uppnås (jmf. Isolering med cellplast). I de fall då detta skikt utgörs av formpressad plast antas det att detta skikt är brännbart, alternativt smälter till följd av omfattande värmepåverkan. I annat fall anses skiktet vara obrännbart.

Skyddande skikt/rotskydd

Det skyddande skiktet/rotskyddet används i de fall då tätskiktets konstruktion saknar eget skydd mot rotinträngning. Detta skikt utgörs av en matta tillverkad av antingen geotextil eller plastmaterial, så som styrenplast eller PVC. För att kunna utgöra ett godkänt rotskydd svetsas eller limmas mattans skarvar så att rotinträngning inte blir möjlig (Veg Tech AB, 2016; BG Byggros AB, 2016).

I de fall då detta skikt utgörs av en matta av plastmaterial anses skiktet vara brännbart.

Tätskikt

Tätskiktets funktion är att skydda det underliggande bjälklaget från fukt och utformas normalt antingen som klistrade mattor, dukar eller membran som anläggs i flytande form. De olika anläggningstyperna har olika styrkor och svagheter i form av svaga punkter, känslighet för UV-strålning och temperaturskiftningar (Osmundson, 1999). För att kvalitetssäkra kommersiella tätskiktets produkter erbjuds olika certifieringar av ett antal certifieringsorgan på marknaden, däribland SP med sin P-märkning.

Då dessa tätskikt i stort sett är samma typ som används vid anläggning av mer konventionella taktäckningar bortses det från dessa vid närmare studie av materialets brandegenskaper.

4.1.3 Incitament – Gröna tak

Det finns idag flera, vetenskapligt förankrade, positiva incitament till implementationen av gröna tak. Forskningen kring de positiva effekterna av gröna tak ur ett samhälls- och individperspektiv har pågått under en längre tid och dessa fördelar är starka incitament för både stadsplanerare och företagsledningar. Några av dessa incitament har redogjorts för nedan med korta förklaringar till deras positiva effekter.

Urbana värmeöar och isolerande verkan för inomhusmiljö

En av de miljömässiga fördelarna med gröna tak är en motverkan av urbana värmeöar, det vill säga temperaturökningar i urban miljö på grund av den täta bebyggelsen som existerar och detta är till följd av att dess reflekterande ytor medverkar till att öka temperaturen. I zoner med en större andel höghus som i storstädernas centrala delar uppnås högre temperaturer, detta bidrar till att klimaten i centrala delar av storstäder kan upplevas som obehagliga för invånarna. Effekten av högre temperaturer i miljön leder även vidare till ett sämre inomhusklimat med högre temperaturer som följd.

Gröna tak omvandlar en stor del av den infallande strålningen i jämförelse med traditionella tak och skulle på så vis dämpa dessa lokala temperaturökningar eftersom underliggande skikt då inte värms upp i samma utsträckning (Gaffin, o.a., 2006). Vintertid ges en motsatt effekt då det gröna taket agerar som ett extra isolerande lager så att värmespillet från taket blir lägre än vanligtvis. Effektiviteten på det isolerande lagret är kopplat till hur pass vattenbärande systemet är, där en högre mängd vatten innebär en sämre isolerande effekt medan ju större del luft som det dränerande skiktet innehåller desto bättre isolerande effekt uppnås. I nedanstående Tabell 1 redovisas uppmätta temperaturskillnader under takmembran på traditionella kontra gröna tak för vinter- respektive sommartid. Förmågan att minska fluktuationer i taktemperatur och således även för inomhusklimatet beror på vilken typ av växter det gröna taket består av (MacIvor & Lundholm, 2011; Blanusa, o.a., 2013).

Tabell 1: Jämförelse i temperatur vinter-/ sommartid för traditionella och gröna takmembran (*livingroofs.org*, 2016) (reproducerad).

	Vinter	Sommar
Medeltemperatur luft [°C]	0	18.4
Temperatur under traditionellt takmembran [°C]	0.2	32
Temperatur under grönt takmembran [°C]	4.7	17.1

En direkt följd av en jämnare temperatur i inomhusmiljön är energibesparingar för fastigheten. Minskade energikostnader uppstår eftersom bland annat klimatsystem behöver aktiveras mer sällan om inverkan från utomhusmiljön blir lägre i jämförelse med om ett grönt tak inte skulle varit implementerat.

Dagvattenhantering

Ett grönt tak bidrar även till att sänka påfrestningen för dagvattensystemet eftersom en viss andel av nederbörden kan upptas direkt av det gröna taket. Upptagningsförmågan beror av vilket växtmedium och vilken typ av dräneringssystem som använts. Andel av nederbörden som förmås tas upp av ett extensivt grönt tak kan variera mellan 40 till 60 % av den totala nederbörden (Banting, Doshi, Li, & Missios, 2005). Upptagningsförmågan påverkas negativt om nederbördens intensitet och kvantitet ökar till följd av att belastningen kommer under ett för kort tidsförlopp eller att växtmediet blir vattenmättat (Carter & Rasmussen, 2006). I samband med upptagningsförmågan bidrar gröna tak även med en minskning på intensitetstopparna vid en nederbörd vilket underlättar för dagvattensystemet att ta hand om regnfallet (Li & Yeung, 2014). Storstädernas dagvattensystem är i många städer idag underdimensionerade vid större nederbörd eftersom det finns mindre areal med vattenupptagningsförmåga i jämförelse med hårdlagda ytor och dagvattensystemets dimensioner (Ansel & Appl, 2012).

Filtrering av föroreningar vid upptag av regnvatten

Utöver en minskning av regnvattensavrinning med gröna tak bidrar de även med att filtrera regnvattnet vid upptag. Det gröna taket fungerar som ett naturligt reningsverk som avskiljer föroreningar med kväve, bly, zink och fosfor i vattnet till att bestå av rena vattenlösliga ämnen (Gregoire & Clausen, 2011; Berndtsson, Bengtsson, & Jinno, 2009). Det förekommer även en neutralisation av regnvattnet när det passerar det gröna takets lager, i Berndtsson, Bengtsson och Jinnos (2009) utförda studie gick pH i snitt från 5 till 7,5 vid avrinning vilket är en miljömässig fördel för naturen. Båda studier påpekar dock att företeelsen av filtrering ska ses som en positiv extern effekt vid installation av gröna tak och inte användas som ett verktyg för filtrering av föroreningar.

Reduktion av luftföroreningar

Gröna tak bidrar med att ta upp koldioxid och generera syre för sin omgivning och det har även kvantifierats och visats att växtlighet kan reducera luftföroreningar genom upptag och nedbrytning. En studie utförd av Yang, Yu & Gong (2008) visade att 1675 kg av luftföroreningar blev eliminerat av 198000 m² anlagt grönt tak. En ökning av gröna tak skulle på så vis kunna leda till att luftkvaliteten i storstäder förbättras och kunna fungera som ett komplement till anläggning av andra gröna åtgärder i städer med mycket hårdbelagda ytor.

Öka den biologiska mångfalden

I urbana miljöer kan den biologiska mångfalden bli begränsad eftersom gröna områden inte förekommer så frekvent och avstånden dem emellan kan vara långa. Gröna tak kan i urbana miljöer motverka detta genom att verka som gröna korridorer för organismer och arter som då kan utnyttja dessa för att öka biodiversifieringen över större områden (Kim, 2004). Tillsammans skulle de gröna taken fungera som ett nätverk över en stad för att sammanlänka stora områden och på så vis vara en motverkande åtgärd till dagens utveckling.

Bullerdämpande

Akustiska fördelar med gröna tak i tätbebyggda områden är att de tenderar att absorbera ljud från sin omgivning till skillnad från de traditionella taken som i större utsträckning reflekterar ljudet. Fördelen kan framhäva sig framförallt då verksamheter som genererar höga ljudvolymmer är belägna i närheten, exempelvis byggarbetsplatser, flygplatser, tungt trafikerade vägar eller musikevenemang (Van Renterghem & Botteldooren, 2009; Van Renterghem & Botteldooren, 2011). Van Renterghem och Botteldooren (2011) fann i sin studie att gröna tak hade en förmåga att sänka ljudvolymen med över 10 dB inom ett brett frekvensintervall.

Förlängd livslängd på tätskikt

Tätskiktets funktion är som nämnt ovan viktigt för att säkerställa att ingen fukt tillåts komma i kontakt med det underliggande bjälklaget. Livslängden för tätskiktet påverkas till stor del av temperaturskillningar och vid konventionella tak kan temperaturskillnaderna ligga inom ett brett intervall över ett dygn. Det är framförallt vid höga temperaturer som tätskiktet utsätts för ett högre slitage. Enligt Björk (2004) har gröna tak en positiv inverkan på temperaturskillningarna för tätskiktet genom att minska temperaturintervallet vilket leder till att livslängden för tätskiktet kan förväntas förlängas med 15 – 30 % jämfört med ett direkt-exponerat tätskikt.

Sammanfattning av fördelar med gröna tak

De miljömässiga fördelarna med gröna tak som nämnts ovan är sammanfattningsvis:

- Temperaturdämpande effekter i varma urbana miljöer
- Isolerande verkan för inomhusmiljön
- Ge upphov till energibesparingar för fastigheten
- Dagvattenhantering (Skydd mot nederbörd, minska ansträngningen för dagvattensystemet)
- Öka den biologiska mångfalden
- Akustiska effekter i form av ljudreduktion
- Ökad livslängd för bjälklagets tätskikt

Med anledning av ovanstående positiva egenskaper har ett antal certifieringsorgan bildats i syfte att ge skäl för att installera gröna tak. Certifieringsorganen certifierar bland annat fastigheter med avseende på deras klimatpåverkan. Några av de internationellt erkända certifieringsorganen är LEED, BREEAM och Green star rating system. Gröna tak har en positiv inverkan på miljön på flera sätt och således medför en installation en högre värdering. Uppkomsten av certifieringsorgan för energi och miljö kom till stor del till på grund av en större kunskap kring hur stor klimatpåverkan människan och däri byggprocessen orsakade på naturen (Xiaoping, Huimin, & Qiming, 2009). Certifieringsorganen ska i grunden endast verka för att hjälpa ansvariga för byggnationer att bestämma en fastighets nivå av klimatpåverkan. Poängsystemen är även utformade på ett sådant sätt att myndigheter ska kunna inkorporera dem i sin lagstiftning. Detta för att kunna begränsa den miljömässiga påverkan från byggnationer.

Det finns idag exempel från Tyskland på ekonomiska fördelar för ett företag eller privatperson som följer av att installera gröna tak på sin fastighet. I Tyskland har man på motsvarande kommunal nivå implementerat skattelättnader som innebär att skatten beräknas baserat på fastighetens förväntade regnvattenhantering och påfrestning på dagvattenhanteringssystemet. De flesta tyska försäkringsgivare har även infört ett 10-20 % avdrag på försäkringspremien vid installation av ett grönt tak (Breuning, 2008).

4.2 Örtsedumvegetationens brandegenskaper

I föregående kapitel konstaterades det att flygbränder kan utgöra en brandspridningsrisk i samband med taktäckningar av brännbart material. För att spridning av brand, från en extern tändkälla till ett tak ska ske via flygbrand krävs dock att brandförloppet uppfyller en rad kriterier.

Det första som krävs är att en brand producerar och kastar ut brinnande eller glödande partiklar. Då lyftförmågan som branden genererar kan anses vara relativt blygsam vid ytbränder även vid hög brandintensitet bör inte eventuella glödande eller brinnande partiklar kunna lyftas särskilt högt över takytan (Granström, 2006). Dock bör det tas i beaktande att branden kan ske ovanpå ett tak, vilket medför att utkastningshöjden redan från ytan kan vara belägen ovan marknivå eller med betydande höjdskillnad mot intilliggande byggnader, vilket kan innebära längre kastlängder.

Dessa partiklar ska sedan kunna färdas genom luften och landa på en brännbar yta, fortfarande med sådant energiinnehåll kvar att de kan orsaka antändning. Den mottagande ytans bränsle måste utöver detta även inneha sådana egenskaper att antändning och vidare brandspridning är möjlig.

Med anledning av dessa kriterier för brandspridning utreds i följande rapportavsnitt först örtsedumvegetationens grundläggande brandegenskaper, och därefter undersöks även hur antändning av en sådan vegetation skulle kunna ske.

4.2.1 Örter och gräs som bränsle

Ett örtsedumtaks vegetationsskikt är som bekant typiskt uppbyggt av en sammansättning av olika arter av sedum, örter och gräs. I vilka konstellationer dessa växtarter förekommer beror till stor del av klimatet där det gröna taket anläggs och utvecklar sig. Växtsammansättningen varierar även med årstider och kan se olika ut både från månad till månad, och från år till år (VegTech AB, 2016).

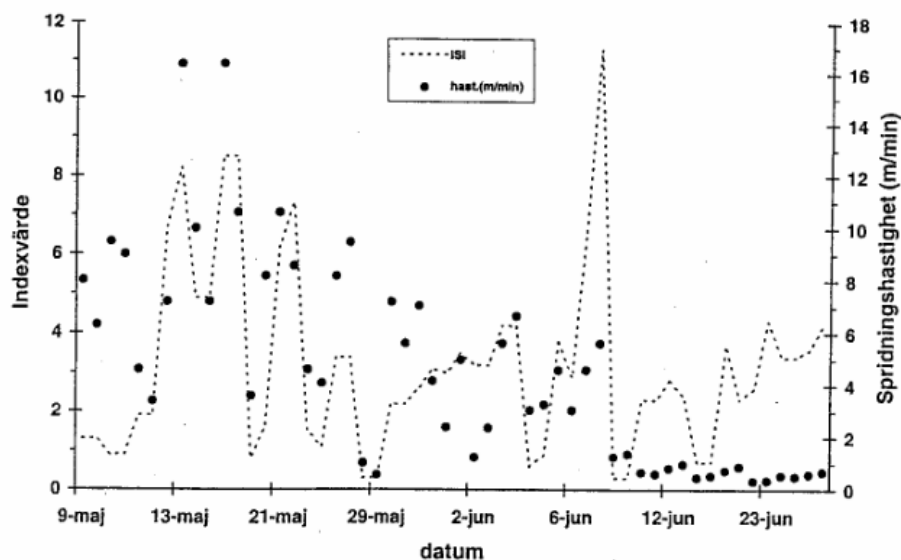
Då det idag finns rena sedumtak (tak med enbart sedumvegetation) som uppfyller kraven enligt provningsmetod ENV 1187 och således innehar brandklassificeringen $B_{\text{Roof}}(t_2)$ väljer vi i denna rapport att enbart undersöka brandegenskaperna närmare för de växtfraktioner som bidrar till den större brandrisken, det vill säga örter och gräs.

I en rapport rörande brandspridning i olika typer av svensk vegetation, skriven av Granström (2006) behandlas brandegenskaper hos örter och gräs utifrån erfarenhet från vegetationsbränder och kontrollerade försök. Det konstateras att levande örter och gräs har så hög fukthalt att de verkar direkt hämmande på brandspridningen och att en brand ofta självdör om inslaget av dessa arter utgör en betydande del av vegetationen. Dock är dessa växters brandegenskaper mycket säsongsbetonade. Granström menar att den förna som bildas då gräs och örter vissnar utgör ett idealiskt bränsle förutsatt att torrt klimat råder. Med anledning av detta skiftar en gräs- och örtvegetations brandegenskaper från ”brandfarlig” under våren, till ”brandsäker” under högsommaren (Granström, 2006). Denna växling beror till största del på att de levande delarna av vegetationen har ett så stort fuktinnehåll att de, som tidigare nämnt ger vegetationen direkt brandhämmande egenskaper.

I Granströms (2006) rapport presenteras resultat från försök på brandspridningshastigheter i figur 14, här återgiven som Figur 6. 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 (Granström, 2006). Den streckade kurvan i figuren visar rådande ISI (Initial Spread Index), vilket är ett indexeringsvärde som väger samman finbränslets fukthalt (FFMC – Fine Fuel Moisture Code) med vindhastighet (Granström, 2006). Ett lågt ISI innebär i regel en kombination av hög fukthalt och låga vindhastigheter, medan ett högt ISI representerar det omvända (Taylor, Pike, & Alexander, 1996). 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) (Minnesota Department of Natural Resources, 2016). Således kan ISI-värdet användas för att ge en uppskattning av bränslets antändbarhet och förutsättningar för spridning.

Utifrån försöken konstateras det även att i de fall branden sprider sig genom vegetationen utgörs bränslet till största del av gräsförna och marktäckande mossor i undervegetationen.

På ett örtsedumtak utgör sedumväxterna undervegetation, och täcker till stor del takets yta. Med anledning av detta förväntas brandspridning i marktäckande undervegetation inte ske.



Figur 6: Försök på brandspridningshastigheter för ört- och gräsvegetation (Granström, 2005) (med tillstånd av Granström & MSB).

Liknande data går att hitta i Canadian Forest Service's *Field Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System* (Taylor, Pike, & Alexander, 1996) och Table 4.26, här återgiven som Figur 7.

Spridningshastigheter [m/min] och intensitetsklassning

Stående gräs

ISI	Torkningsgrad [%]						Intensitetsklass [kW/m]
	0 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100	
1							< 10
2							10 - 500
3							500 - 2 000
4						6	2 000 - 4 000
5					6	8	4 000 - 10 000
6					8	10	000
7			6	10	13	17	> 10 000
8			7	12	16	21	
9			8	14	19	25	
10			10	16	22	29	
11			11	18	26	33	
12			13	21	29	37	
13			14	23	32	41	
14			15	25	35	45	
15		6	17	28	39	50	
16		7	18	30	42	54	
17		7	20	33	45	58	
18		8	21	35	49	62	
19		8	23	37	52	67	
20		9	24	40	55	71	
21-25		10	28	47	65	83	
26-30		12	35	57	80	102	
31-35		14	41	67	93	120	
36-40		16	46	76	105	135	
41-45		18	51	83	116	148	
46-50		19	55	90	125	160	
51-55		21	58	95	133	170	
56-60		22	61	100	140	179	
61-65		23	64	105	146	187	
66-70		23	66	108	150	193	

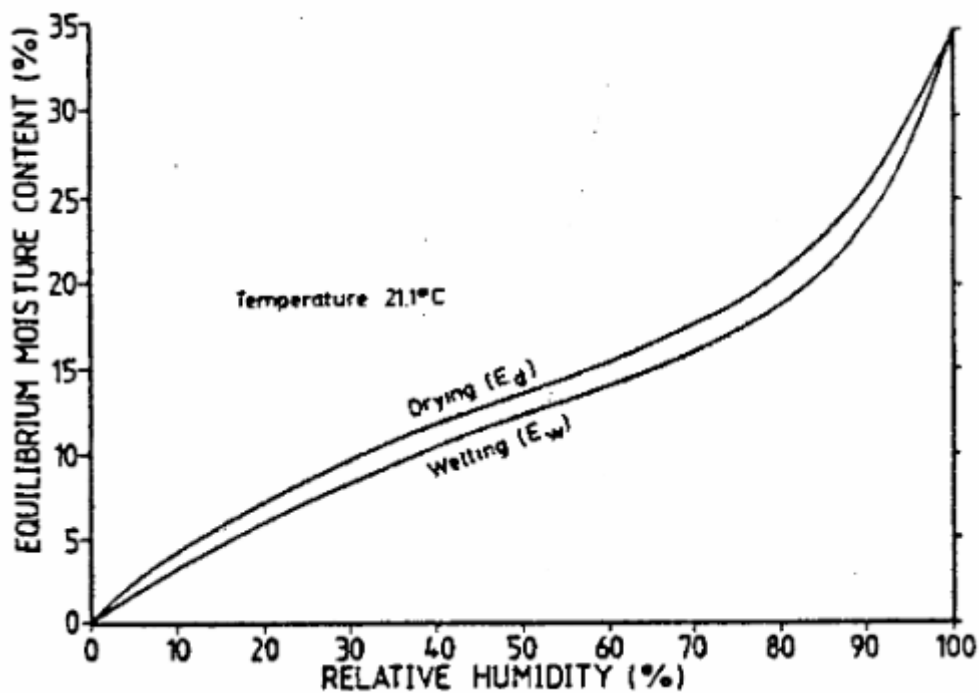
Figur 7: Brandspridning genom stående gräs, beroende av gräsets fukthalt och rådande ISI. Reproducerad från Taylor, Pike & Alexander, 1996.

I denna tabell kan liknande värden för spridningshastighet som de som återfinns i försöksresultaten presenterade av Granström (2006) i Figur 6 utläsas. Värdena i tabellen återger spridningshastigheten (meter/minut) för bränslet vid en given torkningsgrad samt rådande ISI-värde. Intensitetsklassen som representeras av färgskalan i tabellen är ett mått på effektutveckling som funktion av eldbandets längd. Dessa båda källor tyder på relativt låga spridningshastigheter genom vegetation bestående av gräs, eller kombinationen gräs och örter under normala svenska klimatförhållanden.

4.2.2 Antändning av örtsedumtak

Utifrån genomförda studier har man alltså konstaterat att ett finbränsles (gräs och örter) fukthalt är av stor betydelse för antändningsförmågan (Granström, 2006). För att ett mottagande bränsle ska antändas till följd av en flygbrand eller annan extern brandkälla 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 (Drysdale, 1985, ss. 1-33). I och med att aktiveringsenergin beror av materialets egenskaper följer alltså att ett material med högre fukthalt kräver en högre aktiveringsenergi för att antändning ska ske än ett torrt bränsle.

I sin rapport menar Granström (2006) att antändningsrisken hos ett vegetabiliskt bränsle ökar markant när den relativa fuktigheten i omgivningen understiger 30 %. Utifrån detta är det rimligt att anta att ett vegetabiliskt bränsles fukthalt är beroende av omgivningens relativa fuktighet, se Figur 10.



Figur 8: Samband mellan relativ luftfuktighet och fukthalt i bränslet vid jämvikt.

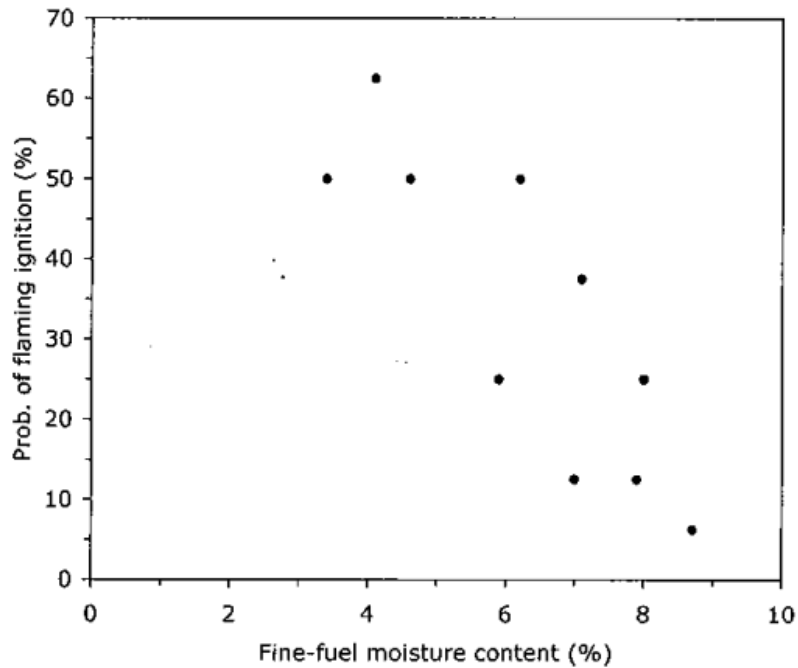
En bränsletyps antändlighet kan studeras med utgång i ett antal olika kriterier, den faktor som dock är av störst relevans för denna studie är det fuktberoende tröskelvärde då en flamma inte längre kan propagera genom bränslet och istället självslocknar. Detta gränsvärde benämns i litteratur som "Moisture of extinction". För att få en uppfattning om vad tidigare forskning inom detta område gett för resultat presenteras ett antal genomförda studier i nedanstående Tabell 2.

Tabell 2. Tidigare studier på Moisture of Extinction.

Författare	Studiens titel	Utgivningsår	Bränsle	Moisture of extinction
Babrauskas, V.	Ignition Handbook	2003	Vegetation/ dött gräs	12 – 15% vid lätt och luftigt bränsle, 15 – 20 % för dött gräs
Countryman, C.M.	Ignition of Grass Fuels by Cigarettes	1982	Gräs	13 % med övergångsfas mellan 14 – 15 %
Rothermel, R.C.	How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires	1983	Lågt växande gräs/ undervegetation (örter, mossor, gräs etc.)	12 % för gräs och 15 % för undervegetation

Svenska försök genomförda av Statens Räddningsverk (idag MSB) har visat att bränslefukthalter i bränsle av finfördelad typ måste understiga cirka 15 % för att brännbarhet ska uppnås (Hansen, 2003), vilket ligger i linje med de internationellt genomförda studierna.

Ytterligare en studie som berör antändlighet hos bränsle av finfördelad typ i relation till bränslefukthalt är utförd av Ellis (2000). I denna studie utfördes försök där konstruerade bitar av eukalyptusbark antändes för att testa antändligheten i granbarr. Försöken genomfördes genom att glödande eukalyptusbark placerades på granbarren. Tändkällans storlek var ungefär i storleksordningen 50 x 15 x 5 millimeter och vägde 0,7 – 1,8 gram. Antändning kan utifrån studien endast ske då fukthalten understiger 9 % i granbarren.



Figur 9. Sannolikhetsfördelning för antändning av granbarr vid en given fukthalt enligt Ellis (2000)

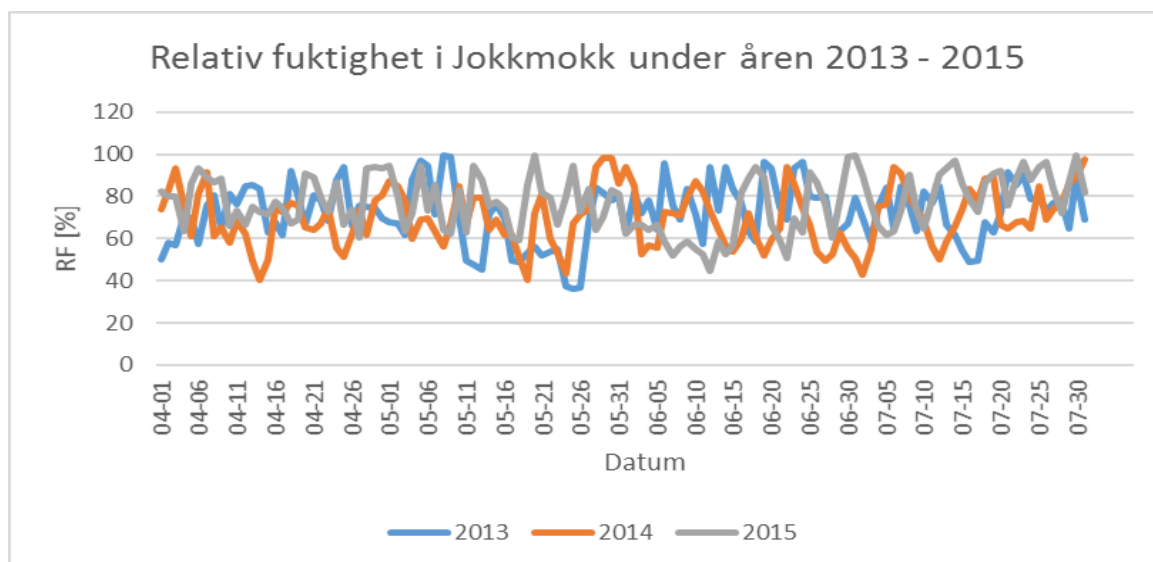
Ovanstående tröskelvärden för antändlighet definierar alltså den fukthalt, vid vilken en brand kan antända och/eller propagera genom en viss bränsletyp utan att självslockna. Det ska dock poängteras att bränslet inte är att betrakta som obrännbart bara för att fukthalten är över tröskelvärdet. Om tillräckligt stor energi tillförs kontinuerligt torkar bränslet ut och antänds. Dock bör det noteras att detta kräver kontinuerlig energitillförsel.

Med anledning av detta är det nödvändigt att reflektera över vilka tändkällor som är relevanta i denna studie. Den mest förhärskande typen av tändkällor som är aktuella för brandspridning till tak utgörs troligtvis av flygbränder. Ovanstående studier tyder alltså på att bränslefukthalten måste ligga under intervallet 9–20 % för att antändning och brandspridning i bränslet ska kunna ske med tändkällor av en storlek motsvarande en flygbrand. Vid ett scenario där örtsedumtaket utgör lägre liggande tak i förhållande till övriga byggnadsdelar kan dock större tändkällor komma att påverka taktäckningen. Enligt resonemanget ovan, rörande ett bränsles antändlighet i förhållande till tillförd energi kan dessa större tändkällor eventuellt utgöra en större risk för vidare antändning av takvegetationen. I och med detta bör provningar utformas med större tändkällor än den förväntade storleken för en ”normal” flygbrand.

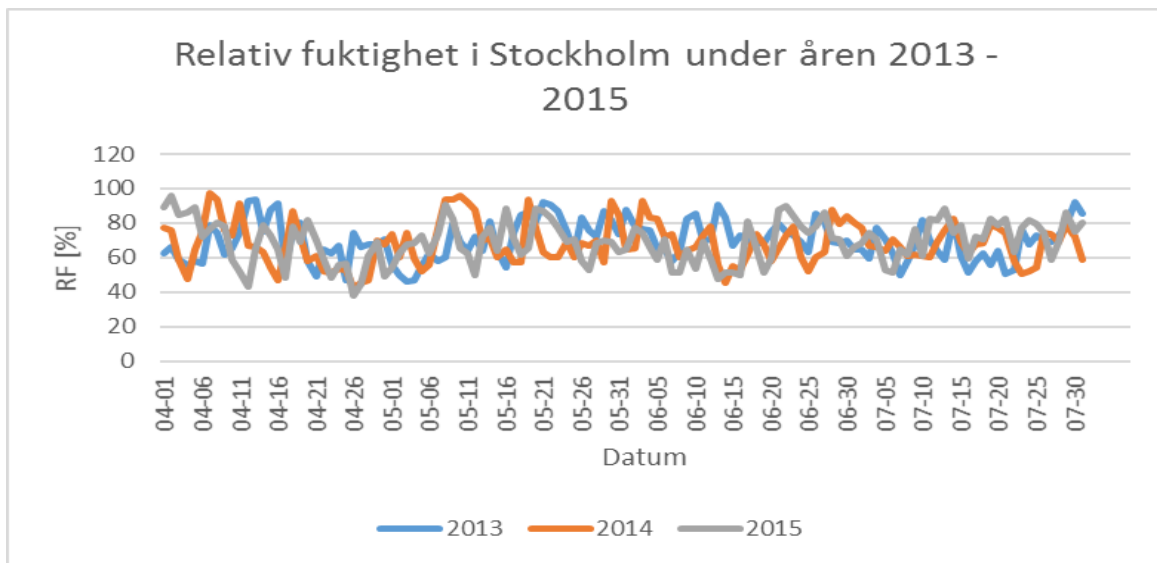
Relativ luftfuktighet [%]	Bränslefukthalt [%]	Förväntat brandförlopp
>60	>15	
45 – 60	12 – 15	Intervall för Moisture of Extinction baserat på tidigare studier
30 – 45	9 – 12	
26 – 40	8 – 11	
15 – 30	5 – 9	
<15	<5	

Figur 10: Antändbarhet i förhållande till relativ luftfuktighet och bränslets fukthalt, baserad på Figur 8 (Granström, 2006) samt Tabell 2 (med tillstånd av MSB).

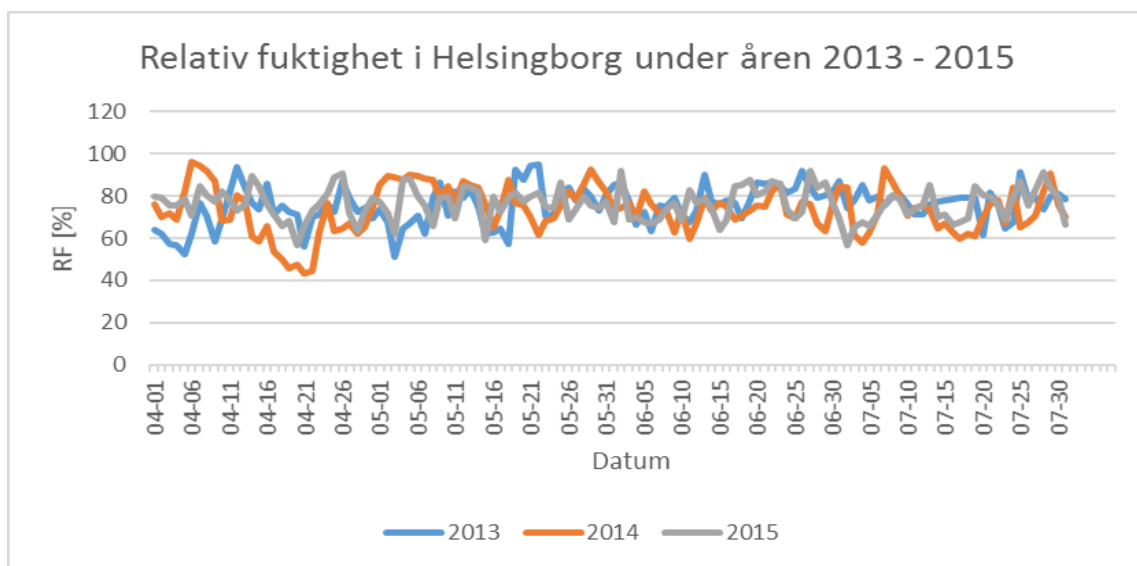
Om detta sätts i relation till förhållandet mellan relativ luftfuktighet och bränslefukthalt som kan utläsas ur Figur 10 ovan innebär det att luftens relativa fuktighet behöver understiga ett värde mellan 30 - 60 % för att risk för mer omfattande brandspridning ska ske. Jämförs detta antagande med statistik över relativ fuktighet i valda delar av Sverige under årets torraste period (april - juli) under åren 2013 - 2015 kan man dra slutsatsen att sådana förhållanden uppstår mycket sällan (se Figur 11, Figur 12 och Figur 13 nedan).



Figur 11: Relativ luftfuktighet i Jokkmokk under åren 2013-2015, data hämtad från SMHI:s väderdatabas (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2016).



Figur 12: Relativ luftfuktighet i Stockholm under åren 2013-2015, data hämtad från SMHI:s väderdatabas (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2016).



Figur 13: Relativ luftfuktighet i Helsingborg under åren 2013-2015, data hämtad från SMHI:s väderdatabas (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2016).

Troligtvis följer bränslets fukthalt inte den relativa luftfuktigheten exakt, men att den förstnämnda till stor del beror på den senare kan anses vara ett rimligt antagande utifrån Figur 10.

För att ta fram en lägstanivå för relativ luftfuktighet i Sverige har data från SMHI:s väderdatabas använts. Om man jämför Granströms (2006) resonemang kring att markvegetation är som mest brandfarlig under sen vår och tidig sommar med erhållen data från SMHI:s databas ser man tydligt att den relativa fuktigheten i Sverige också är som lägst under denna period (Figur 11, Figur 12, Figur 13). Ett beräknat medelvärde för denna period ger en relativ luftfuktighet under april-juli på ungefär 72 %. Detta värde, kopplat till bränslefukthalt enligt Figur 10 resulterar i en bränslefukthalt över 15 % (se Tabell 3). Vidare kan man även räkna på ett mer konservativt värde, ett så kallat worst-case scenario och istället för luftfuktighetens medelvärde välja 1:a percentilen av periodens relativa luftfuktighet. Detta skulle innebära att endast den torraste procenten av periodens alla värden för luftfuktighet väljs och resulterar i en relativ luftfuktighet av 47 %. Om man utifrån detta värde återigen går tillbaka till Figur 10 skulle detta relatera till en bränslefukthalt i finbränsle av ungefär 12 – 15 %, vilket enligt tidigare studier ligger inom intervallet för moisture of extinction (se Tabell 3).

Tabell 3. Sammanfattning av fukthaltsberäkningar.

	Relativ Luftfuktighet [%]	Bränslefukthalt [%]
Medelvärde	72	>15
1: a percentil	47	12–15

Praktisk erfarenhet kring brandspridning

Enligt brandförsök på ett örtsedumtak från tillverkaren VegTech AB, utfört enligt ENV 1187, test 2 (utförligare beskrivning av test kommer i senare del av rapporten) av SP har det dock visats att det obrännbara jordsubstratet (< 5% organiskt material med skiktjocklek 40 mm (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2016; Veg Tech AB, 2016)) innehåller sådan isolerande förmåga att temperaturer under detta skikt aldrig når kritiska värden enligt Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd krav på avskiljande konstruktion (BFS 2013:12).

Utifrån detta test kan man alltså anta att risken för brandspridning in i en byggnad är liten, förutsatt att jordsubstrat med låg andel organiskt material och lämplig tjocklek används vid anläggningen av örtsedumtak.

Omfattande brand i örtsedumtak, där även substratet varit inblandat i branden, har enligt uppgift endast inträffat i ett fall. Detta skedde på ett grönt tak i London, dock ska jordsubstratet i detta fall ha innehållit betydligt mer organiskt material än rekommendationer enligt gällande standard (Edwards, 2014).

För att brandspridning i örtsedumtak ska kunna ske måste alltså många parametrar uppfyllas samtidigt. En parallell kan dras till en utredning av icke-brandskyddade stråtak brandegenskaper, gjord i regi av Aalborg Universitet (Sørensen, 2013). Detta är inte en helt rättvis jämförelse då stråtak har en större bränsledensitet och är samtidigt mer lättantändligt än ett örtsedumtak. Dock är jämförelsen relevant, såtillvida att samma typ av brandspridningsparametrar måste uppfyllas för att spridning av brand, med takbrand som konsekvens ska kunna ske.

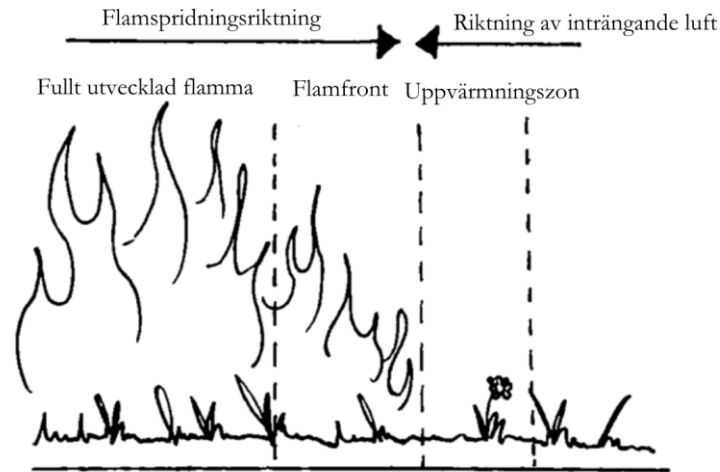
I Sørensens (2013) rapport lyfts följande parametrar fram som de dominerande i frågan om brandspridning till taket kan ske eller ej (författarnas översättning):

- Storlek och intensitet på flygbranden
- Exponeringstid (mellan tändkälla och tak)
- Aktiveringsenergi hos det mottagande bränslet (taktäckningen)
- Takets yttemperatur
- Taktäckningens termiska egenskaper (k_{ac})
- Taktäckningens fuktinnehåll
- Aktuella vindförhållanden
- Var på taket flygbranden landar

I rapporten tas även referensvärden för ovanstående parametrar fram, dock presenteras inte dessa värden i denna rapport då de inte anses relevanta för örtsedumtak (Sørensen, 2013).

4.2.3 Vindhastighetens påverkan på flamspridning

Utöver bränslefukthalten utgör hastigheten på omgivande luft 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 14 (reproducerad från figur 7.2 ur *An Introduction to Fire Dynamics* (Drysdale, 1985).



Figur 14: Flamspridning över yta. Representerad från *An Introduction to Fire Dynamics* (Drysdale, 1985).

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 flaman ska hållas vid liv. Denna luftström 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 (Drysdale, 1985, ss. 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 något.

Vid flamspridning i riktningen mot vindhastigheten saktas spridningen ned. Detta sker delvis till följd av luftströmningens nedkylande effekt, nämnd ovan, men även som 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 (Drysdale, 1985, s. 254). Detta sker främst som en konsekvens av att värmeöverföringen till uppvärmningszonen ökas då flaman böjs ut över det obrända materialet och strålningsintensiteten mot ytan ökar. Detta fenomen kan betraktas 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. I försök utförda på mindre provkroppar av PMMA har denna effekt kunnat påvisas och uppnås vid vindhastigheter i spannet mellan 4 och 10 m/s (Lastrina, Magee, & McAlevy III, 1971). Det bör dock tilläggas att dessa försök utfördes i luftströmmar med förhöjd syrehalt.

Som ovan indikerat är värmeöverföring via strålning dominerande vid flamspridning över en horisontell yta. Drysdale (1985, s. 254) menar att spridningshastigheten dessutom beror av en mängd andra faktorer, till stor del förknippade med bränslets materialspecifika egenskaper. Utifrån detta kan flamspridningshastigheten, V beskrivas enligt ekvation 1 nedan.

$$V = \frac{\dot{q}}{\rho \Delta h}$$

Ekvation [1]

Där $\dot{q} = \epsilon\sigma(T_F^4 - T_0^4)$, ρ är bränslets densitet och Δh är entalpiförändringen. Detta indikerar således att bränsle med lägre densitet genererar bränder med högre spridningshastighet än tätare bränslen. Denna ekvation är dock en grov förenkling av verkligheten, och tar alltså inte hänsyn till varken vindhastighet eller bränslets fukthalt.

För att överhuvudtaget få en uppfattning om vilken påfrestning i form av brandspridning över takytan ett örtsedumtak kan tänkas utsättas för måste på så vis parametrarna bränslefukthalt, bränsledensitet och omgivande vindhastighet undersökas närmare. Då bränslefukthalt redan har behandlats i föregående avsnitt och då bränslets densitet måste antas variera med produktens egenskaper undersöks enbart omgivande vindhastigheter vidare i detta stycke.

Utifrån ovan fört resonemang kan vi anta att flamspridningshastigheten ökar med ökande vindstyrka, men bara upp till en viss gräns. Denna vändning, där spridningshastigheten inte längre ökar som funktion av ökande vindstyrka utan istället avtar, kan utifrån ovan presenterade 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 (Rothermel & Anderson, 1966; Axelsson, van Hees, & Blomqvist, 2002).

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 (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2016) (se

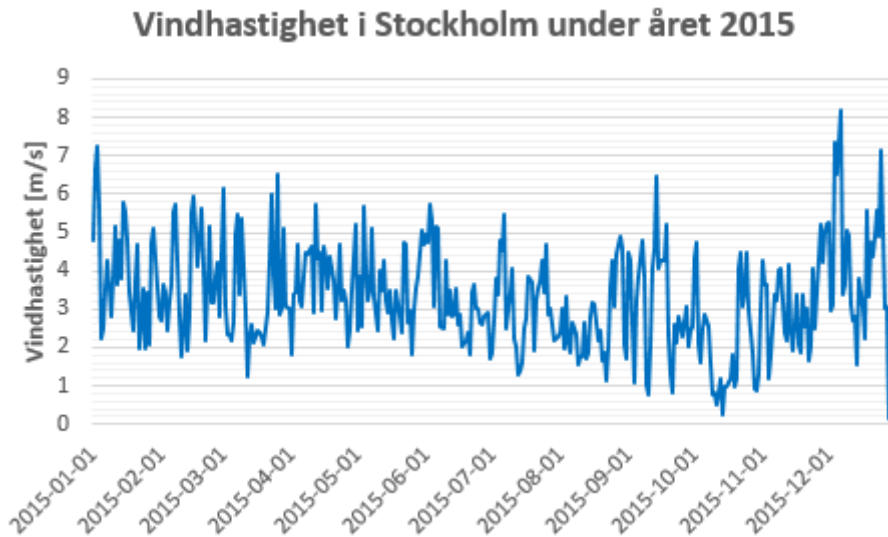
Tabell 4). Vindhastighetens variation över året och de tre orterna presenteras i Figur 15, Figur 16 och Figur 17 nedan.

Tabell 4. Sammanfattning av vindhastighetsberäkningar.

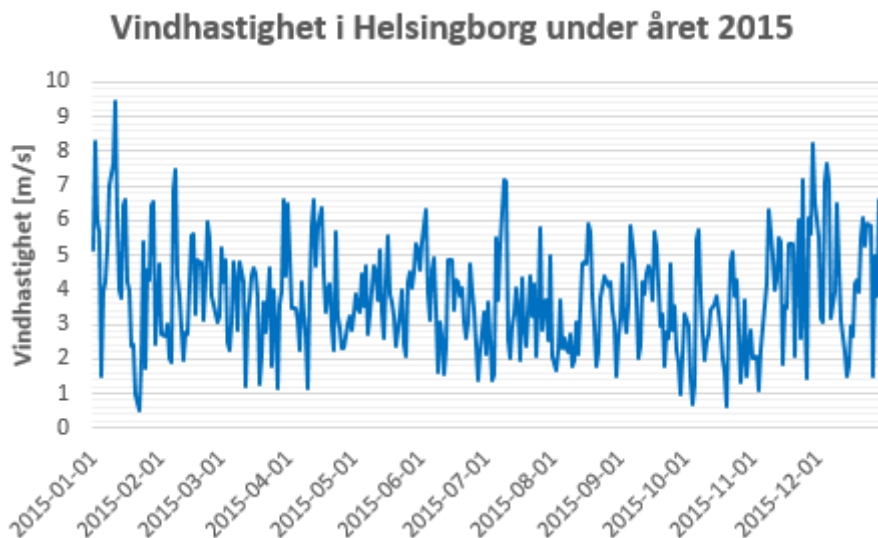
Vindhastighet [m/s]	
Medelvärde	3
90:e percentil	6



Figur 15: Vindhastigheter i Jokkmokk under 2015. Data från SMHI:s väderdatabas (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2016).



Figur 16: Vindhastigheter i Stockholm under 2015. Data från SMHI:s väderdatabas (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2016).



Figur 17: Vindhastigheter i Helsingborg under 2015. Data från SMHI:s väderdatabas (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2016).

4.2.4 Brandspridning via flygbrand

Genom historien har brandspridning i form av flygbrand gett upphov till mycket omfattande stadsbränder. För att bara nämna några exempel där just taktäckningen bidragit till den omfattande brandspridningen kan man lyfta fram den stora branden i London 1666 (eng. The Great Fire of London) där en förklaring till brandens omfattning (fem sjättedelar av staden innanför ringmuren) sagts vara husens tidstypiska taktäckning av halm (Koo, Pagni, Weise, & Woycheese, 2010). Ett annat exempel är stadsbranden i Oakland 1991 där taktäckning av träspån bidrog till omfattande brandspridning genom flygbränder (Koo, Pagni, Weise, & Woycheese, 2010).

En lärdom man dragit från dessa förödande händelser är att takkonstruktionen på byggnader ska utföras i obrännbart material, en byggnadsteknik som länge dominerat – fram tills nu. Nu är alltså brännbara taktäckningar återigen aktuella, vilket återinför flygbrandsproblematiken.

Enligt en tabell över möjlig brandspridningsdistans genom flygbrand, sammanställd av Alexander (2006) och baserad på Albinis *Fire Spotting Model*, kan en flygbrand med ursprung i gräs, busklandskap och hyggen spridas över distanser i storleksordningen hundratals meter beroende på vindstyrka och flamhöjd, se Figur 18 nedan. Denna bränslesammansättning kan dock inte ses som fullständigt representativ för ett örtsedumtak då bränslet i Alexanders (2006) beräkningar till stor del består av växtdelar med högre energitäthet än de som återfinns på ett örtsedumtak, utan kan enbart tjäna som en grov fingervisning på spridningens storleksordning.

Spridningavstånd vid flamhöjd 1 meter										
Öppen vindhastighet (10- m höjd)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Spridningavstånd (km)	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5

Figur 18: Urklipp från tabell i Alexanders (2006) rapport angående brandspridning via flygbrand (reproducerad).

Utöver Alexanders beräkningar enligt Albinis modell (2006) har ett flertal olika försök att beräkna brandspridningsavstånd till följd av flygbränder genomförts, både genom handberäkningar och försök, samt med simuleringsmodeller. I Table 1 från Koo et al. (2010), sammanställs tidigare forskning, här återgiven som Figur 19.

Author	Year	Experiment	Firebrand model	Plume and wind model
Tarifa <i>et al.</i>	1965-67	Burning firebrands in wind tunnel	Sphere, cylinder with combustion	Given launching heights in constant horizontal wind, inclined convective plume (Nielsen and Tao 1965)
Waterman (and Tanaka)	1969	Size and number distribution generation (Waterman 1969) Ignition of various fuel materials by firebrands (Waterman and Tanaka 1969)	-	-
Vodvarka	1969	Size and number distribution	-	-
Lee and Hellman	1969-70	Particles in vertical plume generator (1975)	Spheres with combustion (1970)	Turbulent swirling natural convective plume (1969)
Muraszew and Fedele	1974-1977	Burning firebrands in wind tunnel and fire whirl in vertical channel (1975)	Statistical model (1976)	Fire whirl (1967)
Clements	1977	Firebrand combustion in terminal velocity	-	-
Fernandez-Pello <i>et al.</i>	1982, 1998, 2006	-	Sphere with combustion (Fernandez-Pello 1982)	Given launching heights (1998), McCaffrey plume (2006) in constant boundary layer wind
Albini	1979-83	-	Disc, cylinder and sphere (2006) Cylinder with combustion (Muraszew and Fedele 1976)	Launching height from flame structure analysis in constant horizontal wind
Woycheese and Pagni	1996-2000	Burning firebrands in wind tunnel	Non-dimensional model with combustion (Kinoshita <i>et al.</i> 1981)	Baum and McCaffrey plume model (Baum and McCaffrey 1989)
Knight, Ellis <i>et al.</i>	2001	Various firebrand combustion in vertical wind tunnel	-	-
Colin <i>et al.</i>	2002	Statistical survey on fires and monitoring	Statistical model (SALTUS program)	-
Himoto and Tanaka	2005	-	Disc without combustion	Given launching height in turbulent boundary layer
Manzello <i>et al.</i>	2004-08	Fuel bed ignition by firebrands, generation from a burning tree; firebrand attack on structures using a firebrands generator	-	-
Porterie <i>et al.</i>	2007	-	Small world network model (Porterie <i>et al.</i> 2007); disc with combustion (Sardoy <i>et al.</i> 2007)	Steady state crown fire (Porterie <i>et al.</i> 2005)
Koo, Pagni and Linn	2007	-	Disc and cylinder with combustion	HIGRAD/FIRETEC wildfire model (Linn and Cunningham 2005; Linn <i>et al.</i> 2005)

Figur 19: Sammanställning av tidigare genomförd forskning på ämnet flygbrand, tabell 1 reproducerad från Koo, Pagni, Weise & Woycheese (2010).

I datorsimuleringar utförda av Koo et al. (2012) undersöks det maximala avståndet som en flygbrand kan nå med hjälp av simuleringsverktyget HIGRAD/FIRETEC. Detta är en CFD-modell (computational fluid dynamics) som modellerar förbränning och spridning av brandprodukter genom att lösa ett antal förenklade differentialekvationer för massbevarande. I dessa ekvationslösningar representeras samspelet mellan bland annat förbränning, bränsle, topografi och aerodynamiska förhållanden (Koo, Linn, Pagni, & Edminster, 2012; United States Department of Agriculture, 2016).

Bränslet i denna simulering ska representera ett högväxande gräs alternativt ett kortare busklandskap av höjden 0.7 m och med bränslemängd 0.7 kg/m². Vid samtliga simuleringar antogs en vindhastighet enligt ekvationen $U_x = 6(z/2.26)^{1/7}$, där U_x är vindhastigheten i x-riktning och z är höjd över marken (vilket resulterar i en vindhastighet runt 7 m/s på en höjd av 10 m). De erhållna resultaten från simuleringarna redovisas i rapportens Table 2, här återgiven som Figur 20. Som man kan utläsa ur tabellen skiljer sig resultaten åt beroende på om *terminal velocity approximation* används eller inte. Denna approximationsmodell antar att en partikel aldrig kan färdas snabbare än omgivande vindhastighet, varför försök utan detta antagande resulterar i större spridningsavstånd (Koo, Linn, Pagni, & Edminster, 2012).

Simulation with and without terminal velocity approximation (TVA)	Number of effective firebrands	Average initial mass (g)	Average travel distance (m)	Average flight time (s)	Maximum initial mass (g)	Maximum travel distance (m)	Maximum flight time (s)
DISC_db/dt with TVA (without TVA)	33865 (34621)	0.09 (0.09)	1.7 (6.4)	1.7 (6.4)	0.13 (0.08)	41.0 (50.8)	15.43 (7.34)
DISC_dr/dt with TVA (without TVA)	31762 (32667)	0.09 (0.09)	1.3 (6.60)	1.05 (1.80)	0.06 (0.14)	10.7 (227.80)	6.66 (26.36)
CYL_db/dt with TVA (without TVA)	14300 (15783)	0.003 (0.003)	1.07 (1.79)	0.86 (7.30)	0.003 (0.002)	9.30 (82.30)	2.60 (9.58)
CYL_dr/dt with TVA (without TVA)	16151 (14580)	0.003 (0.003)	1.27 (7.4)	0.95 (1.77)	0.003 (0.003)	11.8 (26.4)	5.26 (3.30)

Figur 20: Resultat från simuleringar utförda av Koo et al. 2012, tabell 2, reproducerad.

Återigen bidrar bränslesammansättningen till en något missvisande bild av en brand i ett örtsedumtak, men precis som i exemplet från Alexander (2006) kan resultaten tjäna som en god fingervisning för brandspridningen, utifrån ett mycket konservativt fall.

4.3 Provning av taktäckning och brandklassificering

Örtsedumvegetationens brandegenskaper beskrevs och resoneras kring i föregående stycke och utifrån den teoretiska kunskapen kan det vara av intresse att jämföra med hur dessa brandegenskaper undersöks och brandklassificeras 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 (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2008). 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 (Edwards, 2014). I BBR finns ännu inte något specifikt avsnitt 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 23, kap. 5 berörs de brandrelaterade egenskaperna hos en taktäckning enligt följande:

Av författningen framgår det tydligt att brännbara taktäckningar, vilket ett örtsedumtak räknas till, endast får användas på obrännbara underlag av klass A2-s1,d0, alternativt på brännbart underlag om avståndet mellan byggnader är över åtta meter. Detta gäller dock enbart brännbara taktäckningar som klarar av brandprovning enligt test ENV 1187 test 2 (gällande i Sverige) 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.

4.3.1 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 kan användas vid byggnation enligt föreskrifter i BBR, och 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 Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) och är en europa-anpassad version av det äldre svenska testet NT FIRE 006 ingående i den europaharmoniserade provningssviten ENV 13501-5.

Testet i sig går till enligt följande:

En provkropp av dimensionerna 400x1000 mm placeras i testmodulen, ovanpå ett för produkten relevant underlag (ex. bitumenbaserad takpapp på ej flamskyddsbehandlad spånskiva). Provkroppen har före testets inledning 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 21 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 (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2016; Nordtest, 1985).

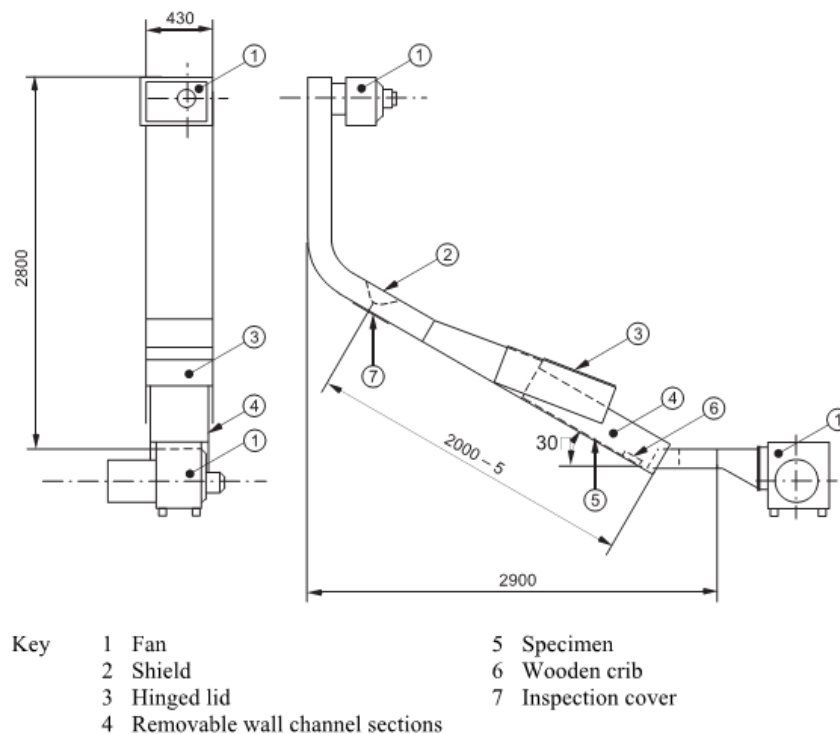


Figure 1 General view of the test equipment as given in ENV 1187

Figur 21: Testmodul vid provningsmetod enligt ENV 1187, test 2 (Wetterlund, 2004) (med tillstånd av SP).

4.3.2 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 finns dock fortfarande varierande provningsmetoder som dominerar i andra europeiska länder. Dessa ska enligt standard ENV 13501-5 ses som likvärdiga och utan inbördes rangordning, dock kan resultat från en provningsmetod aldrig ersätta klassificeringen enligt en annan provningsmetod (Sundström, 2016). 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 $F_{Roof}(t1)$ (Sundström, 2016).

Test 3 kan anses vara det test i ENV 1187 sviten som är mest påfrestande och således också ställer högst krav på taktäckningen (Appl, 2011). Denna provningsmetod liknar till uppbyggnaden test 2, med den 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 $F_{Roof}(t3)$ (Sundström, 2016).

Test 4, vilket är den provningsmetod som används i Storbritannien, är uppbyggd på ungefär samma sätt som test 3, med den skillnaden att provningen sker i två steg (direkt brandpåverkan skiljs alltså 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 $F_{Roof}(t4)$ (Sundström, 2016).

ASTM E108

I USA utförs taktäckningsprovning 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 5 nedan.

Tabell 5: Krav på taktäckningsklass enligt amerikansk standard.

Taktäckningskrav enligt ASTM E108	
Klass A	Avstånd i horisontalld 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 propagerar 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 (Architectural Testing, Inc., 2014; Schevin, 2013).

Intermittent Flame Test

Testet för genombränning utförs på liknande sätt som för provning av flamspridning, med den skillnaden att provkroppen istället för kontinuerlig flampåföring utsätts för direkt brandpåverkan från gaslåga (760 °C vid Klass A och B, 700 °F 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 (Architectural Testing, Inc., 2014; Schevin, 2013).

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 enligt Klass A, B eller C. Godkännande av testet görs utifrån samma premisser som för genombränningstestet (Architectural Testing, Inc., 2014; Schevin, 2013).

4.4 Standarder och riktlinjer ur ett internationellt perspektiv

Då det finns en stor variation i provningsmetoderna för att klassificera taktäckning mellan länder som nämnts ovan kan det även förväntas att regelverk för implementering av gröna tak skiljer sig mellan länder. Internationellt sett finns det många standarder och riktlinjer som är framtagna för att underlätta anläggningen av säkra gröna tak. Det bör dock däremot nämnas att det endast är en minoritet av dessa som belyser problematiken kring brandsäkerhet och än färre som anger riskreducerande åtgärder och skyddsavstånd.

4.4.1 Sammanställning av standarder

Nedan redogörs för de brandrelaterade delarna i några av de standarder och riktlinjer för gröna tak som finns runtom i världen i en sammanställd tabell. Utförligare beskrivning av respektive standards rekommendationer återfinns i nedanstående delkapitel.

Tabell 6: 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 m ²	≤1450 m ²	-
Avstånd på brandgata	1 m alt. 0.3 m hög obrännbar barriär	1 m/40 m alt. 0.3 m hög obrännbar barriär Om väggar har syllar erfordras ett avstånd på 800 mm	1 m/40 m vid större grönytor Om väggar har syllar erfordras ett avstånd på 800 mm	0.9 m	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 växtsubstrat	≤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)

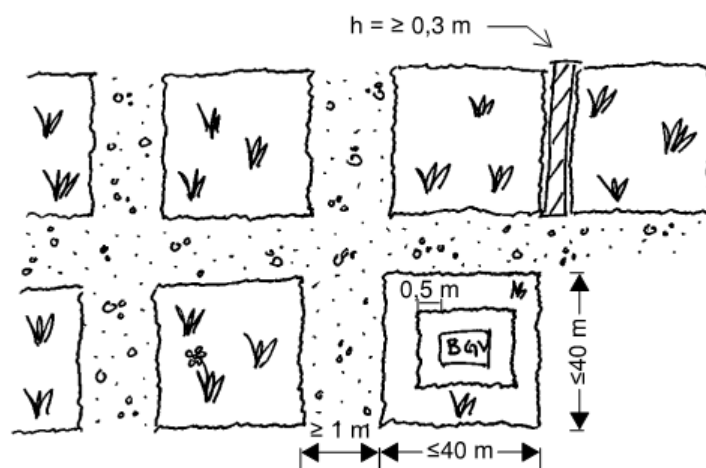
4.4.2 NS

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 ISO. NS 3840:2015 är den norska standarden för gröna tak där medlemmarna utarbetat riktlinjer för hur de norska aktörerna 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 får antingen utgöras utav en minst 0,3 meter hög barriär alternativt en minst 1 meter bred avskiljande zon.

Norsk Standard kräver att växtsubstratet maximalt utgörs av 20 volymprocent organiskt material. 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 22: Visualisering för avstånd till skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt Norsk Standard.

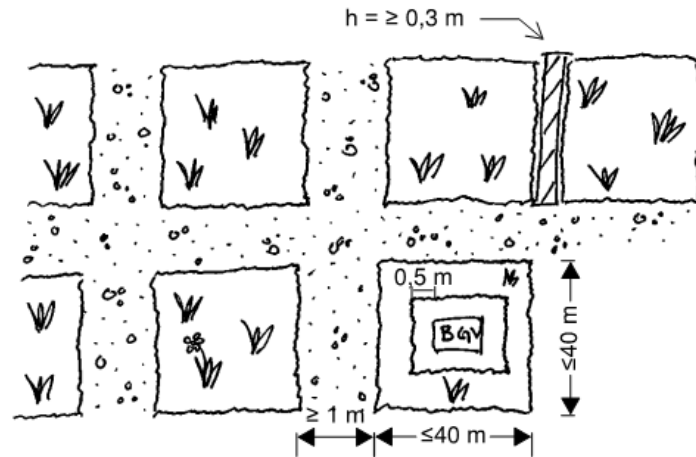
4.4.3 FLL

I Tyskland är det FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) som ger ut riktlinjer för hur man designar ett säkert grönt tak, deras standard har utvecklats i över trettio år och de var 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 utgår 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 eventuell 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 23: Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt FLL.

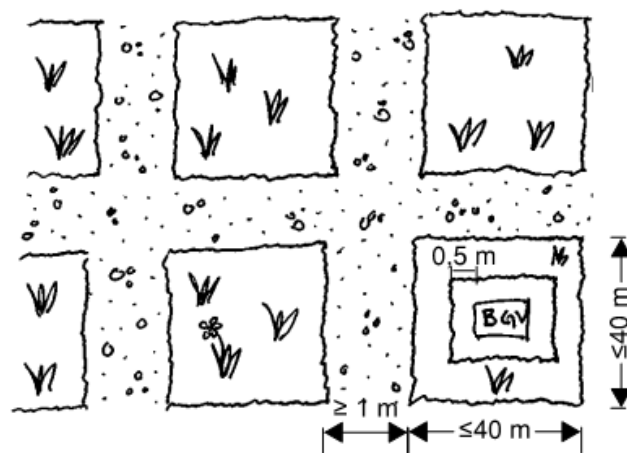
4.4.4 GRO

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 (The Green Roof Organisation, 2016). 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 ett minsta avstånd av 0,5 m. Vid större anläggningar av gröna tak ska brandgatornas bredd utvidgas till att vara 1 meter per 40 meter för att minimera konsekvenserna av en potentiell 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 bortförel av döda växter och inspektion av dräneringssystem, utförs två gånger om året.



Figur 24: Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt GRO.

4.4.5 FM Global

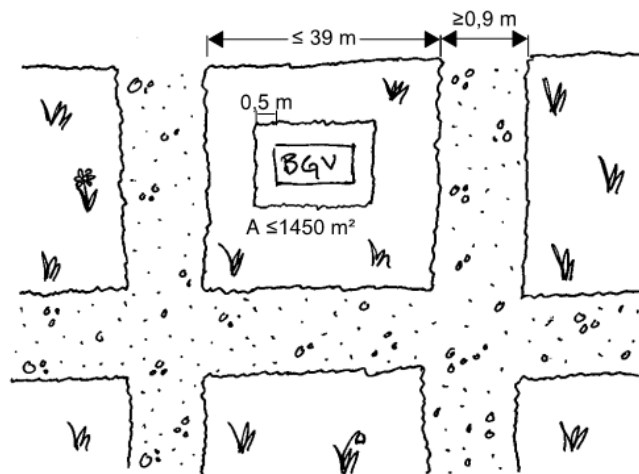
Factory Mutual Insurance Company (FM Global) är ett multinationellt företag som arbetar med återförsäkring och baserar sin försäkringspremie på ingenjörsmässiga riskanalyser. De har sammanställt sina egna riktlinjer baserat på det stora antalet tester och provningar som görs på deras anläggning. Rekommendationer 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 (FM Global, 2016).

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 25: Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt FM Global.

4.4.6 ANSI

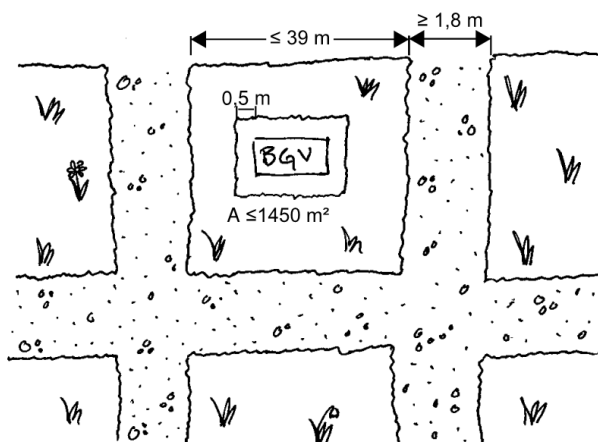
American National Standards Institute (ANSI) är en amerikansk organisation som ger ut riktlinjer och standarder för den amerikanska privata sektorn. Deras standard BSR/SPRI VF-1 är tänkt att fungera som ett minimikrav för designen för gröna tak i USA. Rekommendationer i urval enligt BSR/SPRI VF-1 gällande 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 (American National Standards Institute & Single Ply Roofing Industry, 2016).

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 26: Visualisering av skyddsåtgärder vid anläggning av gröna tak enligt ANSI.

4.4.7 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 (Melbourne och 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.

4.5 Sammanställning och diskussion av litteraturstudie

På grund av de gröna takens positiva inverkan på stadsmiljön tillsammans med deras estetiska värde har denna typ av taktäckning blivit mycket populär. Dock kan man enligt ovan genomförd litteraturstudie se att användandet av denna typ av taktäckning är förknippad med ett antal svårigheter vad gäller byggnadens brandskydd.

4.5.1 Parametrar som påverkar örtsedumvegetationens brandegenskaper

Som nämns i stycke 4.2 kan man anta att sedumfraktionen av örtsedumtakens vegetation innehar sådana egenskaper att dessa kan anses klara av en brand på tillfredställande vis. Det råder dock fler oklarheter kring huruvida gräs och örter bidrar till brandspridning över, eller genom taket eller inte. Något som kan konstateras är dock att dessa växtfraktioners brandegenskaper är starkt förknippat med fukthalten hos materialet.

Enligt tidigare utförda studier har gränsvärdet för bränslefukthalt (moisture of extinction), vid vilken en brand inte kan propagera genom bränsle av gräs eller annan finvegetation bestämts till intervallet 12 – 20 % (se Tabell 2). Vidare har även antändlighet hos finbränslen undersökts med resultat av tröskelvärden för antändning mellan 9 och 15 % fukthalt. Vid bränslefukthalter över dessa intervall kan man alltså förvänta sig att branden självslocknar och brandspridningen blir således ringa eller obefintlig. Detta gränsvärde förutsätter dock att branden i sig utgår från bränslet i fråga, och ingen eller endast en mindre mängd ytterligare energi tillsätts (undantaget ett eventuellt startföremål).

Om man utifrån det resonemang som tidigare förts angående korrelation mellan relativ luftfuktighet och bränslefukthalt kan man utifrån svensk väderdata se att denna fukthalt, vid vilken vegetationen kan anses ge upphov till risk för brandspridning påträffas sällan. Det är dock inte fullständigt otroligt att fukthalten i örtsedumvegetationen kan sjunka så lågt att brand skulle kunna uppstå och spridas. Därför är det intressant att vidare undersöka hur fukthalten påverkar spridningen av brand över en takyta och hur den påverkar taktäckningens motstånd mot genombränning till följd strålningspåverkan från en brand.

En annan faktor som man utifrån litteraturstudien kan säga har potentiellt stor inverkan på brandförloppet i ett bränsle som örtsedumvegetation är omgivande vindhastighet. Det finns ett tydligt samband mellan brandspridningshastigheten och hastigheten på omgivande luft. Spridningshastigheten ökar markant med ökande vindhastighet, men bara upp till en viss gräns då luftflödets hastighet istället stör flammen och verkar avkylande, med långsammare brandspridning, eller självslockning som följd.

Utifrån framtagna data över vindhastigheter i Sverige är det därför av intresse att undersöka hur en eventuell brandspridning i horisontalled över en takyta påverkas av troliga vindhastigheter.

4.5.2 Provningsmetoden ENV 1187 och örtsedum

Efter genomgången av den provningsmetod som idag används för att brandprova taktäckningsmaterial i Sverige står det klart att ett örtsedumtak med största sannolikhet inte klarar kraven enligt provningsmetoden. En intressant fråga är dock huruvida detta är för att taktäckning av örtsedum har väsentligt sämre brandegenskaper än andra, mer konventionella taktäckningsmaterial eller om det helt enkelt är så att testet med dagens utformning helt enkelt inte är anpassat för att kunna hantera provning av denna typ av tak. Kanske fungerar någon av de alternativa provningsmetoderna bättre för att prova just denna typ av taktäckning? Eller kanske bör man se över förfarandet vid provning i allmänhet och kanske då framförallt valet av konditioneringsmetod?

Med bakgrund i denna problematik undersöks svagheter i den svenska provningsmetoden i samband med författarnas försök på provkroppar av örtsedumtaktäckning.

4.5.3 Sammanställning av riktlinjer för anläggning av örtsedumtak – med avseende på brandsäkerhet

Då användande av gröna tak, och bevuxna taktäckningar har skett mer omfattande i andra länder än i Sverige är det av intresse att se hur man tacklar brandfrågorna internationellt. Dock är det svårt att utan omfattande provningar värdera hur väl dessa riktlinjer och standards förhindrar uppkomst och spridning av brand.

Nedan presenteras därför en sammanställning, ur ett internationellt perspektiv, över de begränsande parametrarna för utformning av gröna tak med hänsyn till brandsäkerhet. Denna sammanställning är konstruerad efter de hårdaste kraven utifrån undersökta standarder. Utöver dessa har även bränslets egenskaper vägts in, detta för att bedömningen ska ge en så heltäckande bild som möjligt av hur ett örtsedumtak kan byggas upp med hänsyn till standarder för brandskydd. Om man anlägger ett grönt tak efter dessa krav eller riktlinjer uppnås alltså den högsta krav- eller standardnivån enligt samtliga undersökta standards och rekommendationer.

Andel organiskt material i jordsubstrat

Tester för att fastställa jordsubstratets brännbarhet som funktion av volymprocenten organiskt material bör göras. I brist på sådana tester rekommenderas det att man följer de riktlinjer som anges för befintliga standarder. Andelen organiskt material i jordsubstratet bör således ej överstiga 20 volymprocent.

Jordsubstratets djup

För att förhindra att brandspridning sker ner till underliggande bjälklag bör jordsubstratets djup uppgå till minst 80 mm. Detta för att en eventuell brand i örtsedumet inte ska kunna uppnå kritiska temperaturer.

Sektionering och Brandgator

För att förhindra omfattande brandspridning över en större takyta bör sektionering av vegetationsskikt utföras genom anläggning av brandgator i intervall med en area av maximalt 1450 m². Brandgator bör utföras i obrännbart material och utgöras med en avskiljande bredd på minst 1,8 meter, dock ej smalare än vegetationens fullt utvecklade höjd.

Brandgator runt vertikala element

För att skydda vertikala element och öppningar bör dessa utföras i samma brandtekniska klass som avskiljande konstruktioner. Utöver detta bör en vegetationsfri zon av obrännbart material anläggas på 0,5 meters avstånd runt vertikala element och öppningar.

Bröstning runt taket

För att förebygga omfattande flygbränder och för att minimera risken för personskada till följd av nedfallande, brinnande partiklar bör örtsedumtaket utföras med bröstning runt taket. Bröstningshöjden bör inte understiga vegetationens fullt utvecklade höjd.

Vid de fall då anläggning av bröstning inte är möjlig rekommenderas att en obrännbar vegetationsfri zon med bredd ej understigande vegetationens fullt utvecklade höjd, anläggs runt hela taket.

Underhåll

Inspektion och underhåll av örtsedumtaket bör utföras två gånger om året, varav ett av tillfällena bör förläggas under tidig vår. Primärt fokus vid sådant underhåll är att avlägsna dött material.

Två aspekter som inte identifierats i internationella standarder och riktlinjer är växtsammansättning och räddningstjänstens insatsmöjlighet. Beaktning bör även tas till dessa vid anläggning av örtsedumtak och nedan ges kort formulering kring dessa aspekter.

Växtsammansättning

Något som inte tas upp i någon av de standarder eller riktlinjer som innefattas av denna rapport är hur man kan utnyttja växtsammansättningen för att uppnå ett högre brandskydd. Detta är en faktor som bör undersökas närmre med avseende på olika växtarters fukthållningsförmåga, vedbildning, bränsledensitet och växthöjd.

Omfattande försök bör alltså göras för att kartlägga vilka typer av växter som är lämpliga till att utgöra vegetation på ett örtsedumtak.

Räddningstjänstens insatsmöjlighet

Inte heller räddningstjänstens insatsmöjlighet behandlas i någon av de standarder eller riktlinjer som innefattas av denna rapport. Därför kan det vara intressant att fundera över hur man anlägger ett örtsedumtak med hänsyn till tillgänglighet, takgenombrytning och tillgång till släckmedel.

5. Scenarioanalys – Brand i örtседumtak

Då man efter genomförd litteraturstudie kan se att det föreligger en viss (om än liten) risk för brand i örtседumtak har en scenarioanalys gjorts för att närmare undersöka möjliga brandscenarier. Då det finns ett antal tänkbara scenarion som leder till brand i taktäckningen har scenarioanalysen begränsats till att undersöka två övergripande scenarier. Ur riskidentifieringen i avsnitt 3 framkom det två parametrar som identifierats som viktiga ur brandperspektiv, dessa är genombränning och spridning längs takytan och därav har scenarioanalysen utgått från dessa. Scenarierna har sedan baserats utifrån logiska resonemang kring möjliga byggnadsutformningar och utformning av örtседumtak. Scenarioanalysen har också tillsammans med några av de redan nämnda brister och sårbarheter för örtседumtak medverkat till att påverka de försöksupställningar som gjorts, se avsnitt 3.2.

De scenarier som identifierats presenteras kort i nedanstående stycken och redogör bakgrund till de intressanta aspekterna ur försöksupställningarna.

5.1 Scenario 1 - Genombränning

Det första scenariot som identifierats är en brand som påverkar det gröna taket i form av strålning och strålning i kombination med tändkälla. Detta tilltänkta scenario kan påverka örtседumtaket genom brand från en närliggande byggnad, men kan även tänkas vara från fönster eller fasad i samma byggnad beroende på byggnadens konstruktion. I dagsläget vet man väldigt lite om hur strålningspåverkan påverkar antändligheten i ett örtседumtak. Sannolikheten för att en brand uppstår är väldigt svår att kvantitativt bestämma. Med anledning av detta förutsätts det att brand uppstår då det är av intresse att undersöka taktäckningens brandskydd snarare än sannolikheten att brand initialt uppstår. Konsekvensen av en brand från närliggande byggnad om detta skulle inträffa är även den svår att beräkna i nuläget eftersom det är flera parametrar som inverkar, exempelvis

- Avstånd till örtседumtaket
- Strålningsintensitet från branden
- Fukthalt på örtседumtaket etc.

Utöver parametrarna ovan finns det knapphändig data kring hur en brand utvecklar sig i ett örtседumtak. Uppbyggnaden av ett örtседumtak består av flera lager av brännbart material och därför är det av intresse att undersöka hur temperaturfördelningen i jordsubstratet kan utvecklas. Generellt sett kan det antas att det underliggande lagret efter jordsubstratet består av någon form av plast, i värsta fall cellplast, se avsnitt 4.1.2. Detta medför att det är av vikt att jämföra den kritiska temperaturen för det underlaget och vilka temperaturnivåer som kan uppnås i substratet vid försöken. Utifrån säkerhetsdatablad för två typer av cellplast anges temperaturen för antändning till omkring 285°C, vilket således också kommer anges som den kritiska temperaturen för försöken (Finja, 2016; Isover Saint-Gobain, 2016). Vidare är det viktigt enligt gällande lagkrav att kunna påvisa att taktäckning begränsar brandspridning och endast ger ett begränsat bidrag till branden.







5.2 Scenario 2 - Spridning

I det andra identifierade scenariot utsätts örtседumtaktäckningen för direkt brandpåverkan i form av ett brinnande objekt. Denna tändkälla kan tänkas ha ett flertal olika ursprung, däribland anlagd brand genom att brinnande föremål kastas upp på taket, mindre elbrand/kabelbrand till följd av elfel i takinstallationer, blixtnedslag som antänder dött material på taket, flygbrand från intilliggande bebyggelse, fyrverkeri etc. Då det finns väldigt få försök gjorda på antändlighet och brandspridning i örtседumtak är det svårt att på förhand avgöra hur omfattande brandspridningen till följd av en sådan tändkälla kan tänkas bli. Även tändkällans storlek är svår att generalisera då denna kan ha många olika ursprung. Ett värsta scenario kan dock tänkas uppstå om initialbranden får fäste i takvegetationen och sedan sprider sig vidare över takytan till brännbara konstruktioner i samma, eller omgivande byggnader.

6. Försöksuppställning

Baserat på den tidigare nämnda problematiken kring aktuell provningsmetod för taktäckning av organisk karaktär har två olika tester utformats för att undersöka hur brandsäkerheten för örtsedumtak utifrån vissa förvalda parametrar. Utgångspunkt för de utformade testerna är ovan utförda scenarionanalys. Testerna har utformats för att beakta temperaturfördelning i substratdjup och spridning av brand i örtsedumtak.

Från och med detta avsnitt stöter läsaren på tabeller enligt färgkodning nedan:

~ 0 % fukt		0 m/s	
< 20 % fukt		3 m/s	
40 % fukt		6 m/s	

6.1 Avgränsningar och begränsningar

Utformningen av testerna är gjorda för att kunna återge representativa resultat som speglar en praktisk tillämpning av örtsedumtak. Hänsyn har även tagits till de begränsningar som testutrustning och utrymme i brandlabbet vid Lunds Tekniska Högskola för med sig, samt tillgång till testmaterial.

Konkalorimeterns begränsning kommer från arean av dess strålningskon, denna är anpassad för provkroppar med area som inte överstiger 100 x 100 millimeter. Detta ger att genombränningsförsöken inte kan utformas med större area utan att påverka strålningsdosen för provkroppens fullständiga area. Spridningstestet begränsning uppstår till största del på grund av materialtillgång. Utformningen har dimensionerats efter den erhållna kvantiteten av örtsedumtak för att tillgodose antalet försök som anses ge tillräckligt dataunderlag.

6.2 Materialspecifikation

Materialet som ingick i de två testen kommer ursprungligen från VegTech AB. Testerna gjordes således möjliga genom sponsring av taktäckning samt tillhörande jordsubstrat från VegTech AB. Taktäckningen benämns i deras produktserie som *Sedum-ört-gräsmatta*, dock med förändringen att testmaterialet var baserat på en stomme av kokosfiber istället för deras standard av nylon. Sedum-ört-gräsmattan innehåller en variation av sedum, gräs och örter, där några exempel på den mer högväxta växtligheten är; prästkrage, sand- och backnejlika, liten blålocka och gråfibbla (Veg Tech AB, 2016). Då taktäckningsmaterialet som användes var nyproducerat antas det att vegetationen på provkropparna inte var fullt utvecklad.

Växtlighetens medelhöjd uppskattades till ungefär tio centimeter, vilket kan anses vara relativt lågt i jämförelse med den fullt utvecklade vegetationen som antas kunna nå en höjd av ungefär 50 centimeter (se Figur 27). Utöver detta var växtligheten även bitvis ganska gles. Även detta troligtvis till följd av att provkropparnas vegetation inte var fullt utvecklad.



Figur 27: Exempel på växtlighet för provkropp.

Det jordsubstrat som användes vid försöken är även det en produkt från VegTech AB och är en värmebehandlad mineraljord med låg andel organiskt material som till skillnad från en organisk jord ska vara mer beständig mot nedbrytning (Veg Tech AB, 2016).

6.2.1 Bedömning av fukthalt

Taktäckning av organisk karaktär såsom örtsedumtak kan förväntas variera i fukthalt såsom beskrivits enligt kapitel 4.2.2. Utifrån detta är det av intresse att se hur olika nivåer på fukthalt påverkar brandsäkerheten i vegetationen och följaktligen har några antaganden och förenklingar behövts göras. Nivåerna för fukthalt har valts för att inbegripa ett så stort spektra som möjligt kan inträffa i verkligheten.

Definitionen av fukthalten är kvoten mellan vattnets vikt i materialet och materialets vikt. Fukthalten beräknades således enligt nedanstående ekvation 2 (Govett, Mace, & Bowe, 2010; Okey Obi, Sunday Ezeoha, & Chidinma, 2016):

$$\frac{(m-m_{\text{torr}})}{(m)} = \text{Fukthalt \%} \quad \text{Ekvation [2]}$$

Vid analys av viktskillnaderna mellan de friska och fullt uttorkade provkropparna uppgick dessa i snitt till 60 % av ursprungsvikt vilket innebär att fukthalten vid leverans låg på 40 %, se Tabell 8. Siffran är kopplad till en hel del osäkerheter eftersom det förekom stora variationer i växtlighet på taktäckningen samt att endast material för några provkroppar kunde undvaras till beräkningen.

De tre nivåer av fukthalt som valdes till försöken är benämnda enligt följande:

Tabell 7: Benämning och färgkodning för de tre nivåerna av fukthalt samt uppskattad fukthalt

Benämning samt färgkodning i rapport	Nivå av fukthalt
Frisk provkropp	Fukthalt direkt från produktion (40 %)
”Sommartorr” provkropp	Fukthalt enligt relativ luftfuktighet april-juli (<20 %)
Fullt uttorkad provkropp	Fukthalt efter fullständig uttorkning (~0 %)

Tabell 8: Bestämning av initial fukthalt i provmaterialet

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

I fallande ordning enligt Tabell 7 ingick alltså en frisk provkropp med antagen fukthalt på 40 %. En ”sommartorr” provkropp åstadkoms genom att torka ut provkropparna i torkugn enligt nedanstående process till ett, på förhand definierat bränslefukthaltsintervall enligt ett konservativt framtaget värde. Detta värde har baserats på den relativa fuktigheten för tre mätstationer i Sverige under månaderna april – juli under åren 2013 - 2015, se Figur 11, Figur 12 samt Figur 13 och sedan korrelerats enligt sambandet mellan relativ fuktighet och bränslefukthalten, se Figur 8. Den tredje och mest konservativa bränslefukthalten åstadkoms genom att placera provkropparna i torkugn på 105 °C tills dess att konstant massa uppnåtts.

Tiden till fullt uttorkat tillstånd för provkropparna uppgick till ungefär sex timmar. Uttorkningsprocessen följer en invers sigmoidkurva, jmf Figur 8, och beräkningar för uttorkningstid bör således följa denna funktion. Då variationen avseende vegetation, vikt och storlek för provkropparna var så pass stor kunde ingen generell beräkning för uttorkningstiden göras. Med hänsyn till detta ansattes en linjär uttorkningskurva vid uppskattningar av tid till given fukthalt. Utifrån detta antagande gjordes bedömningen att tiden för att uppnå det bestämda bränslefukthaltsintervall ”sommartorr” skulle vara drygt tre timmar för provkropparna i försöken för genombränning. Detta utifrån det ovan nämnda antagande om linjärt förhållande för fuktminskningen samt att ursprungsfukthalten antogs till 40 % och riktvärde för fukthalten i den ”sommartorra” skulle uppgå till 12-15 %. Då inga mätningar var möjliga för att garantera att respektive provkropp låg inom det önskade intervallet fick antagande göras att bränslefukthalt åtminstone låg under 20 %. Eftersom metoden att beräkna fukthalten endast gjordes med den lilla provkroppen kunde ingen verifiering göras för metodens skalbarhet när de större provkropparna skulle torkas ut i ugnarna. Med hänsyn till osäkerheten i skalbarhet antogs uttorkningstiden för de stora provkropparna, vid torkning till sommartorr fukthalt till fem timmar för att ligga inom eller under det tänkta intervallet.

Nedan återges mer ingående information kring de två olika testernas uppställning och de ingående parametrar som använts.

6.3 Genombränning och antändning

Den första testserien som utfördes var genombränningstesterna, dessa tester syftade till att undersöka temperaturfördelningen i vertikalled genom ett antal givna substratdjup. Undersökta substratdjup var 3, 5 och 7 cm. Grunduppställningen gjordes genom att en provkropp på 10x10 cm placerades ovanpå substratet, i en ramkonstruktion som utgjordes av obrännbart material. Denna konstruktion placerades sedan i en konkalorimeter, varpå provkroppen utsattes för en strålningspåverkan på 25 kW/m² under 15 minuter. Detta test utfördes både med och utan användandet av en pilotlåga för att undersöka skillnaden i provkroppens benägenhet att antända och tid till att antändning.

Då syftet med testet var att undersöka temperaturprofilen försågs ramkonstruktionen med en horisontellt dragen ståltråd på 1-5 centimeters djup för att underlätta att termoelementen placerades på rätt djup. Termoelementen tejpades sedan med koppartejp till respektive ståltråd för att undvika felmätningar när ramkonstruktionen fylldes med jordsubstrat inför försöken. Det lägsta termoelementet monterades i botten av konstruktionen på sju centimeters djup med hjälp av endast koppartejp medan det högsta termoelement (0 cm) placerades mellan jordsubstratet och aktuell provkropp.

Nedan återges bilder över hur uppställningen för testet såg ut:



Figur 28: Tom sampleholder med termoelement på olika nivåer.



Figur 29: Försöksuppställning under pågående försök.

En intressant aspekt som var möjlig att undersöka i samband med genombränningsförsöken var hur pass stor effektutveckling som taktäckningen kunde tänkas ge upphov vid en eventuell brand. Detta var möjligt på grund av att de brännbara gaser som provkropparna gav upphov till vid påverkan i konkalorimetern samlades upp och analyserades. Utifrån förändringar i luftens sammansättning kunde en effektutveckling beräknas med hänsyn till den syreminskning som förekom vid respektive försök. Effektutvecklingen beräknades med hjälp av nedanstående ekvationer.

Till en början beräknas skillnaden i andel syre som analyseras i konkalorimetern.

$$\text{Syreskillnad under försök i procent} = (O_{2,max} - O_{2,min}) * 0,01 \quad \text{Ekvation [3]}$$

Därefter krävs information för konkalorimeterns \dot{V} ($0,024 \text{ m}^3/\text{s}$) och densiteten för syre ($1,331 \text{ m}^3/\text{kg}$) för att beräkna skillnaden i massflöde för syret.

$$\text{Skillnad i massflöde för syret} = [\text{Ekv3}] * \rho_{\text{syre}} * \dot{V} \quad \text{Ekvation [4]}$$

Slutligen beräknas effektutvecklingen genom att multiplicera skillnaden i massflöde för syret under försöket med energiinnehållet per kilogram för syre ($13,1 \text{ MJ}/\text{kg}$) (Huggett, 1980).

$$\text{Effektutveckling} = [\text{Ekv4}] * \text{Energiinnehåll} \quad \text{Ekvation [5]}$$

Tabell 9: Beteckningar

Beteckningar	Värde	Beskrivning
$O_{2,max}$	20.95 %	Normal syrehalt i luft
$O_{2,min}$	-	Lägsta uppmätta syrehalt i luftflödet
\dot{V}	0.024 m ³ /s	Konkalorimeters luftflöde
ρ_{syre}	1.331 m ³ /kg	Densitet för syre
E	13.1 MJ/kg	Energihåll per kilogram för syre

6.3.1 Ingående parametrar

En sammanställning över de ingående parametrar som undersökts och nämnts ovan finns i nedanstående Tabell 10. Utifrån de ingående parametrarna genomfördes testet i totalt 18 olika försöksuppställningar.

Tabell 10: Visuell uppställningstabell över genombränningstestets olika parametrar

	"frisk" provkropp		"sommartorr" provkropp		torr provkropp	
	25 kW/m ² + pilot	25 kW/m ²	25 kW/m ² + pilot	25 kW/m ²	25 kW/m ² + pilot	25 kW/m ²
substratdjup 70 mm	1.	4.	7.	10.	13.	16.
substratdjup 50 mm	2.	5.	8.	11.	14.	17.
substratdjup 30 mm	3.	6.	9.	12.	15.	18.

6.4 Spridning

Det andra testet utformades för att undersöka brandspridningen över ett örtседumtak vid olika vindhastigheter samt ett örtседumtaks förmåga att antända till följd av påverkan från en extern tändkälla. I stort utformades testerna för att så långt som möjligt följa proceduren som används vid provning av taktäckning enligt ENV 1187, dock gjordes en del förändringar i procedur och ingående parametrar. Detta gjordes framförallt för att undersöka påverkan från representativa vindhastigheter för svenskt klimat men också för att ifrågasätta aktuellt val av fukthalt och konditioneringsmetod. Avvikelse som gjordes i relation till ENV 1187 är listade nedan där vänster kolumn beskriver teststandardens upplägg medan den högra beskriver den förändring som gjorts.

Tabell 11: Beskrivning av avvikelser mellan teststandard och aktuellt försöksupplägg

ENV 1187, test 2	Anpassad försöksuppställning
Provkropp monterad i 30° lutning	Provkropp monterad i 0° lutning
Dimensioner på provkropp 400*1000 mm	Dimensioner på provkropp 300*500 mm
Utförs med vindhastigheter på 0, 2 och 4 m/s	Utförs med vindhastigheter 0, 3 och 6 m/s
Testrigger med bredd 430 mm och längd 2800 mm med lutning 30°	Testrigger med bredd 500 mm och längd 2000 mm

Dessa förändringar gjordes dels för att testerna skulle återspegla de relevanta förhållanden som tagits fram utifrån litteraturstudien, men även till följd av begränsningar i brandlaboratoriets utrustning. Grunduppställningen uppfördes genom att, intill en fläkt placera två provkroppar med måtten 30x50 cm med givna avstånd på 10, 20 och 30 cm mellan varandra. Sektionering utgjordes av skarvmaterial från VegTech AB som bestod av krossad lavasten i fraktionen 2-4 mm. Testet påbörjades sedan genom att placera en brinnande träribbstapel på en av provkropparna för att observera hur brandspridningen fortskred.

Under försöket observerades gnistors kastlängd, provkroppens antändning, brandspridningshastigheter och huruvida brandspridning skedde över den obrännbara zonen. Vid testets avslut mättes brandspridningen från träribbstapelns bakkant.

Tändkällan som användes vid samtliga försök utgjordes av en träribbstapel av identisk uppbyggnad som den som används vid taktäckningsprovning enligt ENV 1187, test 2 provningen. Denna är konstruerad av åtta träribbor på så vis att sex av ribborna är fästa parallellt med 0,8 cm avstånd ovanpå de övriga två. Antändning av dessa träribbstaplar gjordes med en för avseendet framtagna antändningsrigg (se Figur 30), även den identisk med den som används vid ENV 1187, test 2 provningen.



Figur 30: Antändningsrigg för träribbstapel

Tre olika försök per bränslefukthalt gjordes för att jämföra vindhastighetens påverkan på brandspridningen. Referenstestet utfördes utan påverkan av vind, varefter de två efterföljande försöken baserades på mätdata för vindhastigheten på tre kontrollstationer i Sverige, se kapitel 4.2.3. Utifrån dessa data tog dels ett medelvärde för Sverige fram och dels ett medelvärde för vindhastigheten i 90-percentilen i Sverige.

Avståndet mellan provkropparna varierades mellan tre olika nivåer för att undersöka risken för att brandspridning över den obrännbara zonen skulle kunna ske.

Uppställningen för spridningstestet illustreras nedan i Figur 31 samt Figur 32 och tydliggör uppställningens olika komponenter såsom tändkälla, provkroppar, obrännbar sektionering samt kanalfläkt. En förklaring över de olika komponenterna är gjorda enligt den numrering som syns i bilderna och nedan ges en förklaring över vad de innebär. Den första bilden illustrerar uppställningen i profil medan den andra visar uppställningen ur vindriktningen.



Figur 31: Uppställning för spridningstest, sedd ur profil

Ena sidan på invallningen märktes ut med längdenheter, se Figur 31, för att underlätta den visuella bedömningen av gnistornas maximala och medelkastlängd.



Figur 32: Uppställning för spridningstest, sedd ur vindriktningen

1. Kanalfläkt
2. Tändkälla i form av en träribbstapel
3. Första taktäckningssektion där antändning tillåts ske
4. Invallning för att koncentrera luftflödet över taktäckningens yta
5. Sektionering med obrännbart material
6. Andra taktäckningssektion för att undersöka spridning över sektionering

6.4.2 Ingående parametrar

En sammanställning över de ingående parametrar som undersökts och nämnts ovan finns i nedanstående Tabell 12. Utifrån de ingående parametrarna genomfördes testet i totalt 27 olika försöksuppställningar.

Tabell 12: Visuell uppställningstabell över spridningstestets olika parametrar

	"frisk" provkropp			"sommartorr" provkropp			torr provkropp		
	500 m	300 mm	100 mm	500 mm	300 mm	100 mm	500 mm	300 mm	100 mm
Vindhastighet									
0 m/s	1.	4.	7.	10.	13.	16.	19.	22.	25.
3 m/s	2.	5.	8.	11.	14.	17.	20.	23.	26.
6 m/s	3.	6.	9.	12.	15.	18.	21.	24.	27.

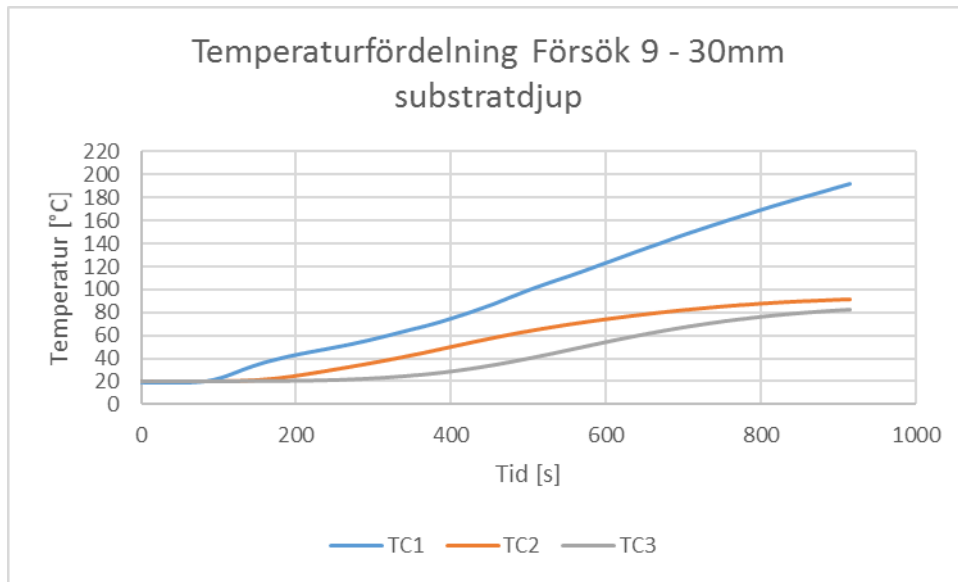
Utöver dessa 27 ordinarie test genomfördes även fem ytterligare tester. Proceduren vid de fyra första av dessa provningar var identisk med de ordinarie testerna, med skillnaden att de genomfördes med en obrännbar zon med avståndet 200 mm och endast vid vindhastigheterna 3 och 6 m/s. Det femte försöket utfördes med totalt tre provkroppar. De två första av dessa placerades direkt intill varandra så att en sammanhängande brännbar yta av en meter skapades, därpå följde en obrännbar zon av 200 mm följt av en tredje, mottagande provkropp.

7. Resultat

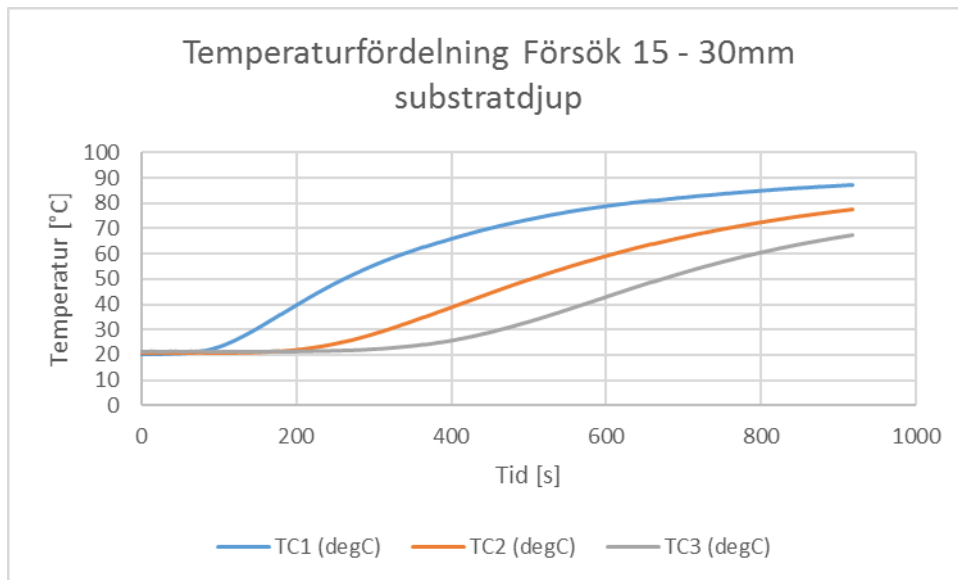
Nedan redovisas erhållna resultat från utförda försök, uppdelat på genombrännings- och spridningsförsök.

7.1 Genombränning och antändning

Erhållna resultat från genombränningsförsöken visar alla på en mycket god isolerande förmåga hos jordsubstratet. Det observerades även, i och med den låga halten av organiskt material, att substratet är obrännbart. Vidare kunde man utifrån försöken också se en tydlig skillnad mellan uppmätta temperaturer, varierande med de olika provkropparnas fukthalter. I Figur 33 och Figur 34 nedan återges temperaturer vid försök med substratdjupet tre centimeter och där Figur 33 representerar provning av en torr provkropp, medan Figur 34 representerar provning av en frisk (övriga grafer återfinns i Bilaga 1).

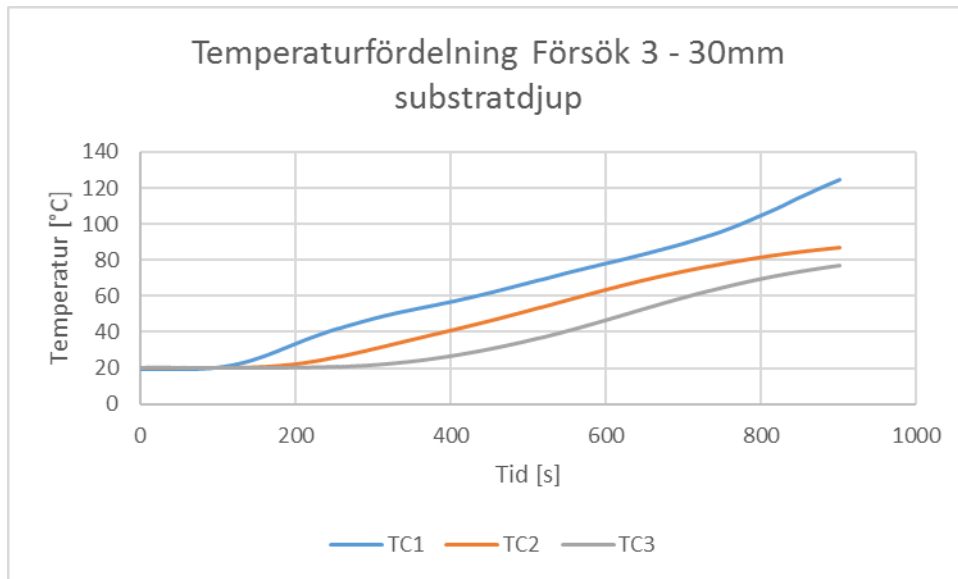


Figur 33: Temperaturfördelning för torr provkropp med 30 mm substratdjup.

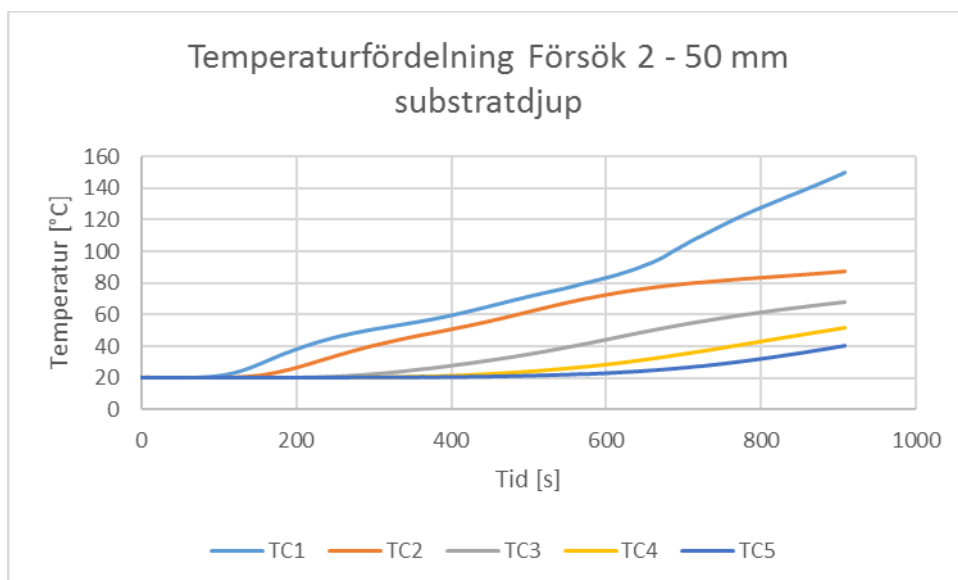


Figur 34: Temperaturfördelning för frisk provkropp med 30 mm substratdjup.

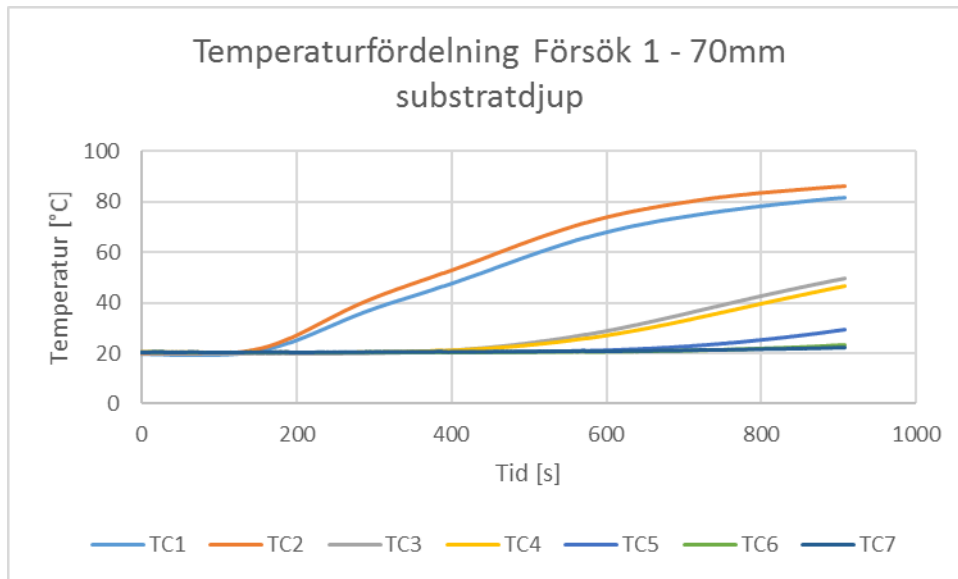
Det kunde även iaktas att den massa substrat som agerar som mottagare för värmepåverkan spelar roll för hur temperaturprofilen genom djupet ser ut. Ju större bulk den mottagande massan utgörs av, desto mer sprids energin från värmestrålningen och man kan iaktta en typ av bufferteffekt. Således tenderar temperaturerna på samma djup att bli lägre i de provningarna med ett större substratdjup, se Figur 35, Figur 36 och Figur 37. Detta är dock inte ett entydigt resultat, utan viss variation finns mellan de olika försöken.



Figur 35: Temperaturfördelning för "sommartorr" provkropp med 30 mm substratdjup.



Figur 36: Temperaturfördelning för "sommartorr" provkropp med 50 mm substratdjup.



Figur 37: Temperaturfördelning för "sommartorr" provkropp med 70 mm substratdjup.

Ett resultat som dock gäller för samtliga försök är att temperaturer som i sammanhanget kan anses som höga aldrig uppmäts i den lägst belägna mätpunkten. I Tabell 13 nedan redovisas maximalt uppmätt temperatur för lägst belägna mätpunkt i varje försök. De högsta temperaturerna uppmättes vid försök med substratdjup av tre centimeters djup och vid försök med torra provkroppar.

Tabell 13: Maximalt uppmätt temperatur vid det lägst belägna termoelementet.

Försöksnummer	maximal temperatur i lägst belägna mätpunkt [°C]
1	22,1
2	40,6
3	77,3
4	24,0
5	35,3
6	73,2
7	20,9
8	36,2
9	83,0
10	25,5
11	36,9
12	84,0
13	22,8
14	27,3
15	67,6
16	23,9
17	26,7
18	76,1

7.1.1 Effektutveckling

Utifrån uppmätta syrenivåer beräknades maximal effektutveckling för varje enskilt försök då antändning inträffade. I Tabell 14 nedan redovisas de högsta nivåerna för effektutvecklingen vid samtliga fukthalter.

Tabell 14: Maximal effektutveckling vid genombränningsförsök.

	sommartorr	torr	fuktig
HRR vid antändning [kW/m ²]	59	78	-

7.1.2 Tid till antändning

Vid försöken skedde antändning av provkroppar enbart vid försök med torra och sommartorra provkroppar. Brinntiden varierar från 16 – 51 sekunder med en medelbrinntid på ca 40 sekunder, och antändning skedde både med och utan pilotlåga (se Tabell 15).

Tabell 15: 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	-	-

7.2 Spridning

Resultat från spridningsförsöken presenteras i Tabell 16 nedan (för mer detaljerad sammanställning, se Tabell B-1 i Bilaga B). Generellt kunde det konstateras att spridning knappast sker i de friska provkropparna och den brandpåverkade ytan endast motsvarar området direkt under träribbstapeln, med undantag för viss förkolning på uppstickande grässtrån som på grund av vindpåverkan kommit i kontakt med öppen låga. En något större spridning kunde observeras i de sommartorra provkropparna, dock spreds branden endast vid direkt flamkontakt och brandpåverkat område utgjordes i de flesta fall endast av en ”korridor” över provkroppen (se Figur 38). Spridningen i sidled var alltså liten, vilket resulterade i att flamfrontens storlek också var begränsad. Vid försök med torra provkroppar var brandspridning över hela provkroppen den vanligaste iakttagelsen, relativt oberoende av vindhastighet. Vid dessa försök konstaterades det även att tiden för avbränning av vegetationen på provkroppen var ungefär 30 – 40 sekunder.

Tabell 16: Sammanfattning av spridningsförsök.

Försöksnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9
spridningslängd [m]	0,15	0,35	0,3	0,1	0,3	0,25	-	-	-
kastlängd gnistor (medel) [m]	0	0	0,8	0	0,6	0,9	-	-	-
kastlängd gnistor (maximal) [m]	0	0	1,7	0	1	1,9	-	-	-
Försöksnummer	10	11	12	13	14	15	16	17	18
spridningslängd [m]	0,25	0,5	0,4	0,15	0,25	0,25	-	0,5 + 0,1 + 0,15	0,2
kastlängd gnistor (medel) [m]	0	1	1,1	0	0,65	0,9	-	1,1	1
kastlängd gnistor (maximal) [m]	0	2	> 2	0	1	> 2	-	> 2	> 2
Försöksnummer	19	20	21	22	23	24	25	26	27
spridningslängd [m]	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	-	0,5	0,5 + 0,1 + 0,5
kastlängd gnistor (medel) [m]	0	1	1,2	0	1,1	1,1	-	1,1	1,3
kastlängd gnistor (maximal) [m]	0	2	> 2	0	1,8	> 2	-	> 2	> 2
	extra	extra	extra	extra	extra				
Försöksnummer	28	29	30	31	32				
spridningslängd [m]	0,5	0,5	0,3	0,45	1				
kastlängd gnistor (medel) [m]	0,8	1,3	0,9	1	0,8				
kastlängd gnistor (maximal) [m]	1,8	> 2	> 2	> 2	> 2				

~ 0 % fukt 0 m/s
 15 - 20 % fukt 3 m/s
 40 % fukt 6 m/s





Figur 38: Brandspridning över provkroppar vid försök nummer 17. Mottagande provkropp överst i bilden med brandpåverkat område av ca 15 cm.

Brandspridning över den obrännbara zonen skedde endast i två fall, det första vid provning av sommartorr provkropp med 3 m/s vindpåverkan och obrännbar zon av 10 cm, det andra vid provning av torr provkropp med 6 m/s vindpåverkan och obrännbar zon av 10 cm. Vid det senare försöket spred sig branden över hela den mottagande provkroppen och brände av all vegetation på denna (se Figur 39), medan branden i försöket med sommartorr provkropp självslocknade efter spridning 15 cm in på den mottagande provkroppen (se Figur 38).



Figur 39: Brandspridning över provkropp vid försök 21, helt avbränd vegetation.

Gnistors kastlängd varierar något mellan de olika försöken. En trend som kan urskönjas 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. I de fall då spridning över den obrännbara zonen inträffade skedde detta som en konsekvens av direktkontakt med öppen låga. Således dras slutsatsen att energinnehållet 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.

Vid extraförsök som avvek från grunduppställningen och byggdes upp av totalt tre torra provkroppar (försök nummer 32) observerades ingen ökad brandpåverkan på den mottagande provkroppen. Detta trots att branden spred sig över de båda första provkropparna. I och med att avbränning av vegetationen gick snabbt ökade varken flamfrontens omfattning eller flammhöjden nämnvärt.

8. Analys av resultat och riskbedömning

Då analys av resultaten från de genomförda försöken är färdigställt kan en riskbedömning för örtседumtak utföras. Riskbedömningen i denna rapport grundar sig endast på en konsekvensbedömning. Detta avsnitt i riskbedömningen innehåller vilka eventuella konsekvenser en antändning av taktäckningen kan medföra. Denna del benämns som konsekvensbedömningen och riktar sig dels till den lokala konsekvensen för taktäckningen och dels vilka konsekvenser en brand kan ge upphov till på mer samhällelig nivå.

Som nämnts tidigare har det inte påfunnits, utifrån författarnas efterforskning, något fall där brand uppstått i organisk taktäckning av samma karaktär som dagens örtседumtak. Det medför att det inte finns något underlag för att kvantitativt skatta sannolikheten att omfattande brand uppstår. Av den anledningen har endast en konsekvensbedömning genomförts för de utförda försöken till skillnad från en mer traditionell riskbedömning som innehåller två delar, konsekvensbedömning samt riskskattning.

Nedan följer en presentation av konsekvensbedömningen för örtседumtak ur ett brandperspektiv baserat på utförd litteraturstudie och genomförda försök.

8.1 Konsekvensbedömning

Det är av intresse att göra en bedömning av konsekvensen utifrån att det skulle uppstå en brand på ett örtседumtak. Detta utgörs framförallt av visuella iakttagelser från spridningsförsöken samt insamlad mätdata från genombränningsförsöken. Konsekvensbedömningen är indelad utifrån två olika infallsvinklar med avsikt att bedöma konsekvensen ur ett platslokalt perspektiv samt ett perspektiv på samhällelig nivå.

Syftet med att dela in konsekvensbedömningen i två grenar är gjord för att ge en djupare analys av konsekvensen vid en antändning i ett örtседumtak. Ett platslokalt perspektiv kännetecknas av att enbart fokusera på konsekvensen för det enskilda taket och tar således ingen hänsyn till omkringliggande miljö och eventuell påverkan till denna genom spridning. Erhållna resultat från genombränningsförsöken tyder på en god isolerande effekt i jordsubstratet då tydliga temperaturskillnader mellan de olika substratdjupen uppstår i de flesta fall. Det mest konservativa fallet visade sig vara försök nummer 12 med den högsta uppmätta temperaturen i den lägsta punkten på 84 °C, jämfört med temperaturintervall uppmätt i lägsta punkt mellan samtliga genombränningsförsök på 21 – 84 °C (se Tabell 13). Detta försök var med fullt uttorkad provkropp och ett substratdjup på 30 mm och vid hänsyn till nivån för kritisk temperatur i underliggande skikt på 285 °C, se avsnitt 5.1, kan det anses vara väldigt liten konsekvens för genombränning i taktäckningen. En iakttagelse vid genombränningsförsöken var att inga större temperaturskillnader uppvisas mellan de olika nivåerna av fukthalt.

Det är som nämnts tidigare däremot en större variation i resultaten när det kommer till omfattning av brandspridning. Likaså gäller samma principer för konsekvensen där den primära faktorn för omfattningen på spridningen fukthalten medan den sekundära är vindhastighet. Det verkar utifrån resultaten som att konsekvensen vid antändning i örtседumtak skulle frambringa ingen till väldigt låg konsekvens vid en frisk fukthalt. Vid frisk fukthalt uppgick den längsta spridningslängden till 0,35 meter och var då i form av direkt påverkan av lågan från tändkällan, således var antändningsenergin ej tillräckligt hög för att flamspridning skulle kunna ske på egen hand.

Konsekvensen för antändning i örtседumtak för de torrare provkropparna anses dock vara högre då dessa försök uppvisar en större spridning som är mindre beroende av vindhastigheten och en direkt påverkan från flamma. Det bör dock nämnas att stora variationer uppvisades i de ”sommartorra” försöken där spridningslängderna låg i intervallet 0,15 – 0,75 meter. Det värsta fallet utgjordes av ett försök med 0,1 meters sektionering och vindpåverkan på 3 meter per sekund där flampropagering framskred 0,15 meter över nästa provkropp innan materialet självslocknade.

Den mest konservativa fukthalten visade på minst spridning i resultaten där endast två av försöken avvek från övriga. De försök som överensstämde med varandra fick en fullständig förbränning av växtlighet i den provkropp där tändkällan placerades. De övriga två försöken var i princip varandras motpartar där den mest konservativa utgjordes av ett försök med 0,1 meters sektionering och vindpåverkan på 6 meter per sekund där flampropagering framskred över hela nästa provkropp. Det minst konservativa försöket uppvisade endast en flampropagering på 0,2 meter och var utan någon vindpåverkan. Utifrån dessa resultat bedöms konsekvensen vid antändning av örtседumtak i fullt uttorkat material vara väldigt hög utan tillräcklig och existerande sektionering.

Applicering av resultaten på ett större, samhälleligt, plan ger att konsekvensen kan anses vara väldigt låg eftersom inga tendenser till flygbränder och ytterst få fall av spridning över barriärer kunde iakttas under försöken.

9. Riskreducerande åtgärder

Riskreducerande åtgärder har bestämts baserat på genomförda försök och de nuvarande internationella standarder som tar hänsyn till brandsäkerhet. Risken antas variera utefter de identifierade faktorer såsom fukthalt, vindhastighet och växtlighet. Tiden vid anläggning och fram till att vegetation anses fullt utvecklad kommer risken att öka på grund av en högre och tätare vegetation. En högre och tätare vegetation kan förväntas avge högre flamhöjd vilket i sin tur ger en större spridningsrisk då vindpåföring förekommer. Vidare kan det inte garanteras att växtfloras sammansättning för örtsedumtaket bibehålls under hela dess livslängd.

Passiva skyddsåtgärder för att reducera risken inkluderar obrännbara barriärer och sektionering av taktäckningen. Bredd av barriär eller sektionering bör relateras till höjden på den fullt utvecklade vegetationen. Dessa åtgärder skulle kunna motverka fullständig antändning av taktäckningen baserat på det faktum att gnistornas energiinnehåll ej var tillräckligt i spridningsförsöken för att antända nästkommande provkropp.

Aktiva skyddsåtgärder skulle kunna vara att införa en skötselplan där underhåll av taktäckningen ska ske med viss regelbundenhet, detta underhåll kan vara allt från att bibehålla en viss vegetationshöjd till att rensa bort dött organiskt material. En sådan typ av riskreducerande åtgärd är dock svårare att kontrollera så att den inte försummas. Alternativ till en annan typ av aktiv skyddsåtgärd vore att uppföra ett manuellt eller automatiskt sprinklersystem som vid aktivering har möjlighet att släcka eller fördröja brandförloppet.

10. Diskussion

Utifrån genomförd litteraturstudie och utförda försök kan risken förknippad med anläggning av örtsedumtak diskuteras. I följande stycke tas en rad kritiska faktorer upp och behandlas dels utifrån vad litteraturen säger om deras inverkan på örtsedumtakens brandegenskaper och dels utifrån antaganden och resultat från utförda försök. Vidare diskuteras utformningen av de provningsmetoder som idag används vid provning av brandmotsstånd i taktäckningsmaterial och rimligheten i provningsmetodens förfarande. Slutligen förs ett resonemang kring vad man kan ta med sig från denna studie när man applicerar resultat och sammanställda fakta på användning av örtsedumtaktäckning i våra samhällen och städer.

10.1 Försök och försöksupställning

Vilka ingående parametrar som används vid ett försök påverkar i mycket stor utsträckning hur resultaten, verifierbarheten och validiteten i försöket faller ut. Som man också fint kan uttrycka det – ”skit in, skit ut”. Med bakgrund i detta är det av stor vikt att vara medveten om vilka parametrar som spelar roll och utifrån vilka premisser dessa är valda. Nedan diskuteras de mest kritiska parametrar utifrån den genomförda studien mer ingående och motiveringar till valda ingångsvärden ges.

10.1.1 Vindhastighet

De vindhastigheter som används vid försöken är valda på så sätt att de ska täcka in ett spann av vindhastigheter förekommande i svenskt klimat. Den datamängd som ligger till grund för de beräknade vindhastigheterna är hämtad från tre av SMHI:s väderstationer i Sverige. Valet av stationernas geografiska placering (Helsingborg, Stockholm och Jokkmokk) har gjorts för att fånga så många variationer av det svenska klimatet som möjligt. I urvalet representeras såväl inlands- som kustklimat och nordligt respektive sydligt klimat. Anledningen till att antalet mätstationer är begränsat till tre stycken är att en begränsning här var tvungen att göras för att begränsa insamlad data till hanterbar mängd, och även för att kunna säkerställa att data från SMHI var granskad och kvalitetssäkrad i tillräcklig utsträckning. Vid mer exakta och platsspecifika analyser bör väderdata från regional eller lokal nivå användas som bedömningsunderlag. Det bör tilläggas att väderdata inte anger momentana byvindars hastighet utan mätstationerna registrerar ett medelvärde över en timme under dygnets alla timmar. De beräknade vindhastigheterna har således endast resulterat i medelvindar för Sverige och ingen hänsyn tas till hur en momentan byvind skulle kunna påverka kastlängd för gnistor eller flamspridning under ett brandförlopp.

Vid ett fåtal av försöken (försök nummer 12 och 29) kunde en mer eller mindre tydlig blow-off effekt observeras. I båda fall utfördes försöken med vindhastigheten 6 m/s, dock var effekten mer tydlig i försök 12 vid vilken halvfuktig provkropp användes. Detta stämmer ganska väl överens med tidigare presenterad teori presenterad under stycke 4.2.3 i denna rapport. Enligt teorin beror den vindhastighet, vid vilken blow-off effekter uppträder mycket på brandens storlek vilken i sin tur beror av både bränsledensitet och bränslefukthalt. Då denna effekt uppvisades vid vindpåföring med hastigheten 6 m/s och inte vid 3 m/s relaterar också relativt bra till det empiriskt framtagna intervall av 4-10 m/s som presenteras i teorin. Anledningen till att ingen blow-off effekt kunde observeras vid försök vid 3 m/s vindpåföring kan ha sin förklaring i att brandens tillgång till bränsle, och därigenom brandintensiteten, var så pass stor att vindpåverkan vid denna hastighet inte var tillräcklig för att ha negativ inverkan på flamspridningen.

Utifrån ovanstående observationer kan man resonera en del kring vindhastighetens påverkan på ett brandförlopp i ett örtsedumtak. Då de provkroppar som användes vid försöken inte hade fullt utvecklad vegetation är det rimligt att anta att tillgången av bränsle är större hos en fullt utvecklad taktäckning. Detta skulle enligt teorin innebära att något högre vindhastigheter krävs för att blow-off effekter ska uppvisas. Det går dock inte att utläsa några direkta samband mellan vindhastighet, torkningsgrad och flamspridning från utförda försök. För detta ändamål hade fler försök, mer riktade till att undersöka just denna frågeställning behövt utföras.

Som tidigare nämnt är vindhastigheterna vid försöken valda utifrån svensk klimatdata och följer alltså inte de vindhastigheter som används vid provning enligt ENV 1187, test 2. De undersökta vindhastigheterna ligger något högre än de som används vid provningsstandarderna och är därmed tänkta att ligga till grund för ett mer verklighetstroget, och svårare test. I majoriteten av de utförda försöken medförde vindhastighet av 6 m/s en något snabbare brandspridning och längre kastlängder för gnistor och som ovan nämnt kunde blow-off effekter endast observeras i två av försöken. Utöver detta kan det antas att brand i mer omfattande vegetation kräver ytterligare högre vindhastigheter för att blow-off effekter ska uppvisas. Detta tyder på att det är relevant att genomföra provningar med högre vindpåföring än de 4 m/s som används vid provning enligt ENV 1187, test 2. Vidare tyder det på att vindhastigheter baserade på faktiska svenska väderförhållanden är att föredra då dessa kan anses vara mer representativa för den miljö i vilken taktäckningen är tänkt att finnas.

10.1.2 Fukthalt

De fukthalter som använts vid försöken i denna studie är dels valda för att återspegla ett representativt intervall för svenskt klimat och dels för att kunna ge resultat jämförbara med taktäckningsprovning enligt ENV 1187, test 2. Den fukthalt som är tänkt att representera ett sommartorr svenskt klimat är, som tidigare förklarats, baserat på ett medelvärde för relativ luftfuktighet utifrån mätdata från tre av SMHI:s väderstationer. Valet av dessa stationers geografiska placering (Helsingborg, Stockholm och Jokkmokk) gjordes för att fånga så många variationer av det svenska klimatet som möjligt. I valet av mätstationer återfinns data för såväl nordligt som sydligt klimat och även kustklimat och inlandsklimat. Skälet till att detta medelvärde endast är baserat på data från tre mätstationer är helt enkelt att en avgränsning här var tvungen att göras för att begränsa datamängden utifrån vilken använda värden beräknats. För att få en mer exakt och rättvisande bild över väderförhållanden bör, vid mer detaljerad analys, luftfuktighet baseras på lokal väderdata för det undersökta området.

Då det finns knapphändigt med forskning kring hur korrelationen mellan bränslefukthalt hos vegetabiliska bränslen och relativ luftfuktighet är det svårt att med säkerhet säga att en viss luftfuktighet resulterar i en bestämd bränslefukthalt. Dock kan det konstateras att bränslefukthalten är beroende av luftfuktigheten och följer denna relativt väl, om än med en viss förskjutning (Granström, 2006). Detta antagande anses vara realistiskt och det faktum att ingen hänsyn tagits till extra fukt tillförsel i form av nederbörd eller vatten magasinerat i takets vattenhållande skikt bidrar till att resultaten kan tolkas som relativt konservativa.

Ytterligare en faktor som bidrar till de något konservativt skattade resultaten är de antaganden som gjorts kring provkropparnas initiala fukthalt. I och med att mätutrustning för att direkt mäta bränslets fukthalt inte funnits tillgänglig fick bedömning av provkropparnas fuktinnehåll göras med enklare metoder. Vid utförd jämförelse av provkroppars massa vid den initiala fukthalten och torrvikten beräknades referensvärde till 40 %. Bedömningen av fuktinnehåll i de provkroppar med benämningen ”sommartorr” gjordes, som tidigare nämnt, genom vägning och jämförelse med referensvärdet för friska provkroppar. Enligt den beräkningsmetod som använts ges en konservativ skattning av fukthalten för provkropparna, där konservativ innebär en torrare provkropp än verkligheten. Detta då det referensvärde som använts för att bestämma fuktinnehåll i sommartorra provkroppar baserats på 1:a percentilen av relativ luftfuktighet under de torraste månaderna i svenskt klimat. Att 1:a percentilen använts innebär i praktiken att bränslefukthalten korrelerar till den lägsta procenten av uppmätta relativa luftfuktigheter under Sveriges torraste period. Att ett örtsedumtak skulle reagera så momentant på snabba svängningar i relativ luftfuktighet och således torka ut till motsvarande bränslefukthalt kan anses som relativt osannolikt. Detta antagande representerar alltså en mycket extrem bild av klimatets påverkan på uttorkning av örtsedumtaktäckning. Trots dessa konservativa skattningar av bränslefukthalt uppvisar alltså provkropparna relativt gott brandmotstånd då självslockning i de sommartorra provkropparna skedde i en majoritet av försöken.

Vid de försök som genomfördes med friska eller sommartorra provkroppar kunde det tydligt observeras att vegetationen agerade bromsande mot brandspridningen över provkroppens yta. Dessa observationer stämmer väl överens med de teorier som tidigare behandlats i rapportens stycke 4.2.1. De mest intressanta resultaten med avseende på denna bromsande och brandhämmande förmåga hos vegetationen kunde iaktas i de försök som utfördes på sommartorra provkroppar. Vid dessa försök spred sig branden till största del i de mest uttorkade grässtråna och självslocknade snabbt vid kontakt med tätare vegetation. Detta är en förklaring till den typiska ”korridorspridning” som uppvisades i majoriteten av spridningsförsöken i sommartorra provkroppar.

10.1.3 Provkroppars variation

Ytterligare en faktor som med största sannolikhet påverkat försöksresultaten är variation i utformning och utseende av provkropparna. Vid leverans konstaterades det att vegetationen på taktäckningsmaterialet var mer sparsamt än förväntat. På en fullt utvecklad och etablerad örtsedumtaktäckning är vegetationen relativt jämn och högvuxen, men då de provkroppar som använts vid försöken i denna studie kom direkt från produktion var de alltså inte fullt så utvecklade. Som nämnt ovan i avsnitt 6.2 var vegetationen relativt lågvuxen och spridd över provkroppen. I och med detta fanns områden som var betydligt mer glesbevuxna än andra. Dessa områden verkade i vissa av spridningsförsöken som mindre obrännbara barriärer inom provkroppen, vilket försvårade eller fördröjde brandspridningen över provkroppens yta. Dessa faktorer har med största sannolikhet bidragit till att dämpa brandspridning, brandspridningshastighet och flammhöjd. Vad gäller gnistbildning och kastlängder för gnistor kan den mer vegetationsfattiga ytan ha gett upphov till något lindrigare scenarion än vad som hade uppkommit om provkropparna varit fullt utvecklade. Vid samtliga spridningsförsök observerades det att majoriteten av gnistorna genererades vid vindpåföring på den brinnande träribbstapeln och endast en mindre del av gnistorna hade ursprung i brinnande vegetation.

Ytterligare en faktor som med största sannolikhet påverkat försöksresultaten är variation i utformning och utseende av provkropparna.

Den varierande vegetationen och tjockleken hos provkropparna har med största sannolikhet även påverkat resultaten vid genombrännings – och antändningsförsöken. Provkroppar med en större mängd torr vegetation antänder ju lättare än mer vegetationsfattiga provkroppar. Utöver detta observerades dessutom en viss skillnad i tjocklek mellan de olika provkropparna (+/- någon centimeter). Denna skillnad i tjocklek medför ett något större värmegenomgångsmotstånd vid försök med tjockare provkroppar, vilket i sin tur bör leda till resultat med något lägre, alternativt fördröjda, temperaturstegringar i jordsubstratet.

10.1.4 Effektutveckling

Som en direkt följd av ovanstående problematik leder skillnader i provkropparnas vegetation till variationer i maximal effektutveckling. Då en större mängd brännbar vegetation innebär mer bränsle och således också en större energimängd uppvisar också de provkroppar med mer vegetation tendenser till att generera högre effekt per kvadratmeter. Utifrån detta resonemang skulle alltså fullt utvecklad örtsedumvegetation ge upphov till något högre effekt och brandintensitet än det som uppvisats i genomförda försök.

10.1.5 Försökens repeterbarhet och validitet

Med anledning av ovanstående problematik, och då framförallt den angående variationer i vegetationens täthet och provkropparnas tjocklek kan upprepning av försöken ge något varierande resultat. I de försök som utförts har vissa scenarion repeterats för att kontrollera försöksupställningens repeterbarhet. Vid dessa kontrollförsök har vissa skillnader i resultat observerats, exempelvis skiljer det sig huruvida glödbränder under provkroppen uppstår eller ej. Dessa variationer kan antas vara en konsekvens av skillnad i provkropparnas utförande snarare än försöksprocedurerna i sig. Vid anläggning av örtsedumtak i verkligheten kan man anta att taktäckningens egenskaper varierar något över takytan och således finns dessa variationer i brandmotstånd såväl i takets naturliga miljö som vid författarnas konstruerade provningar. Där det är möjligt har konservativa antaganden och värden valts för att så långt det går kompensera för vissa av de osäkerheter som de ingående parametrarna för med sig. Exempelvis har, där det varit möjligt, alltid en mer ogynnsam provkropp prioriterats vid utförande av försök.

Med detta sagt kan en upprepning av studien förväntas generera något annorlunda resultat. Dock har en relativt stor mängd försök utförts och god överensstämmelse med teorin från genomförd litteraturstudie har kunnat iakttagas, vilket tyder på att försöken trots viss variation ger en homogen resultatbild.

Vid konstruktion av de båda försöksupställningarna har utformningen av takuppbbyggnaden förenklats på så vis att samtliga lager under jordsubstratet har bortsetts ifrån. Detta har gjorts utifrån antagandet att dessa skikt inte påverkar utfallet av försöken. I övrigt har uppbbyggnaden av försöken utgått från verkliga produkter och anläggningsteknik i största möjliga mån. I och med detta anser författarna att utförda provningar tjänar som en representativ bild av hur ett örtседumtak beter sig vid händelse av brand, och under ett antal olika externa påfrestningar. I många av försöken har även scenarion som enligt genomförd litteraturstudie och behandlad klimatdata kan anses vara mycket konservativa undersökts. Dessa har alla visat på god motståndskraft mot brand och omfattande brandspridning, trots de mycket konservativt valda parametrarna.

10.2 Dagens provningsmetod - ENV 1187, test 2

Att örtседumtak har svårigheter att passera provningsmetod enligt ENV 1187, test 2 står klart efter utförda försök. Den stora problematiken ligger som synes i testets utformning i kombination med en taktäckning som är uppbyggd av mer eller mindre brännbara, uppstickande element. Den stora svårigheten, som författarna ser med denna provningsmetod i kombination med taktäckning av örtседumtyp är att kriteriet för brandspridning över materialets yta (max 0,55 m) är anpassad för taktäckning som är mer eller mindre slät och alltså inte av varierande höjd med uppstickande element. På taktäckning av örtседum växer, som bekant förutom de lågväxande sedumarterna även örter och gräs. I de fall då höjden på dessa växter överstiger 0,55 m fallerar provningen principiellt så fort strån antänds och viker sig på så sätt att branden ”flyttas” förbi 0,55 m. Provningar av örtседumtak tenderar kanske alltså snarare att falla i ENV 1187, test 2 provningen just på grund av testets utformning i förhållande till taktäckningens, än på grund av bristande brandegenskaper.

Vid provning av taktäckning av örtседum har det dock konstaterats att, även om delar av, eller hela den torra vegetationen brinner av så uppnås aldrig höga temperaturer under jordsubstratlagret (Karlgrén, 2016). Detta är något som kunnat bekräftas i och med de försök som utförts i samband med denna undersökning. Att jordsubstratet, förutsatt att halten organiskt material är lågt, agerar som en typ av obrännbart och isolerande skyddsskikt mot underliggande material medför att genombränning av taktäckningen från brand i vegetationen kan anses vara osannolik.

Svårigheterna förknippade med provningsmetodens utformning försvåras ytterligare till följd av den forcerade torkningen av provkropparna som idag praktiseras. I samtliga spridningsförsök med fullt uttorkade provkroppar observerades en snabb brandspridning och avbränning av provkroppens vegetation.

Utifrån insamlad klimatdata för relativ luftfuktighet i Sverige kan man ifrågasätta denna procedur av forcerad torkning och rimligheten i detta förfarande. Konditionering av provkroppen ska, enligt uppgift från SP egentligen ske i 23 ± 2 °C och 50 ± 5 % RF tills det att konstant massa uppnås. I verkligheten tar detta för lång tid och forcerad torkning i ugn vid 105 °C till konstant vikt praktiseras istället (Nordtest, 1985). Detta för att efterlikna värsta möjliga förhållanden, och således också den mest konservativa värderingen av materialets brandmotstånd. Detta är en god tanke i sig, men dessa extrema förhållanden kan dock tänkas ge något missvisande resultat då de med tveksamhet är representativa för örtседumtak i svenskt klimat. Utifrån tidigare fört resonemang kring korrelation mellan relativ luftfuktighet och bränslefukthalt hade den föreskrivna proceduren, där provkropparna konditioneras vid en relativ luftfuktighet av 50 % medfört att provkropparnas bränslefukthalt stabiliseras kring ett värde straxt under 20 %, vilket i sin tur placerar brännbarheten i kategorin ”Liten risk för antändning” (Hansen, 2003). Denna bränslefukthalt ligger något högre än den som använts vid utförda försök på ”sommartorra” provkroppar i denna rapport, vilka indikerar att vegetation vid fukthalt runt 15 – 20 % har direkt brandhämmande egenskaper. Denna fukthalt är som tidigare beskrivet baserad på svensk klimatdata och utgår från 1:a percentilen för de månader på året med lägst relativ luftfuktighet. Med bakgrund i detta bör man lyfta frågan om huruvida fullständig uttorkning i torkugn, vid 105 °C är representativt, ens som ett worst-case.

Med bakgrund i detta kan det vara på sin plats att fundera över om man inte bör modifiera provningsmetoden av taktäckning just när det gäller provning av taktäckning inom kategorin gröna tak. Ett första steg mot en mer rimlig och rättvis bedömning är att konditionera provkropparna utifrån relevant klimatdata och således prova taktäckningens brandmotstånd utifrån ett relevant värsta scenario. Hänsyn bör också tas till konsekvenserna av en helt avbrunnen takareal. Om genombränning inte kan ske som följd av jordsubstratets isolerande förmåga och spridning är osannolik som följd av gnistornas otillräckliga energinnehåll kanske man kan tillåta att en avgränsad sektion av ett grönt tak brinner av?

Vid provning av vegetationstäckta taktäckningar bör även krav på fullt utvecklad vegetation ställas. Detta för att kunna försäkra sig om att den taktäckning man provar faktiskt innehar samma egenskaper som den kommer ha vid verkligt bruk. Under litteraturstudien i denna rapport stötte författarna på örtsedumtak som innehade brandklassificeringen $B_{\text{Roof}}(t2)$ vilka dock var provade i produktionsstadiet, dvs. utan fullt utvecklad växtlighet.

Då denna rapport inte har till syfte att ta fram en ny provningsmetod utreds detta inte vidare i detalj, men det kan konstateras att hänsyn bör tas till ovanstående problematik angående utformning av provningsstandard ENV 1187, test 2. Utifrån resultat från denna, och framtida studier bör provningsmetoden ses över så att dess validitet och trovärdighet vid brandklassificering av gröna tak kan förstärkas.

10.3 Att applicera resultat från studien på verkligheten

Utifrån genomförd studie kan man dra en rad slutsatser angående hur ett örtsedumtak beter sig vid händelse av brand. Dessa kommer att diskuteras nedan och relateras till hur taktäckningens egenskaper kan påverka hur man väljer att se på brandfaran utifrån rådande bygglagstiftning.

Till att börja med kan man utifrån studien se att jordsubstratets isolerande förmåga, redan vid relativt tunna jordlager innehar en sådan isolerande förmåga att fara för antändning och omfattande temperaturpåverkan på underliggande lager kan anses vara i stort sett obefintlig. Som tidigare påvisat resulterade det mest ogynnsamma genombränningsförsöket i en temperatur av 83 °C i den lägsta belägna punkten (tre centimeter). Detta innebär att underliggande material är väl skyddat från brandpåverkan och att man till och med skulle kunna betrakta ett jordsubstratlager med lågt organiskt innehåll och tillräcklig tjocklek som ett obrännbart underlag. Utifrån detta resonemang bör man kunna argumentera för att man uppfyller det allmänna rådet tillhörande paragraf 5:62, BBR 23:

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

All anläggning av örtsedumtak skulle med utgångspunkt i substratets isolerande och obrännbara egenskaper vara att betrakta som anlagd på obrännbart underlag, oavsett underliggande bjälklagskonstruktion. Detta så länge jordsubstratlagret innehar en tillräcklig tjocklek och en låg andel organiskt innehåll.

I graferna som visar temperaturpåverkan genom jordsubstratets djup (se Bilaga 1) syns det att temperaturökningen inte fullt avstannar under försökstiden av 15 minuter. Dock kan man urskilja en tendens till utplaning av temperaturstegringen efter ungefär 600 – 800 sekunder. Detta innebär att bibehållen strålningsintensitet av 25 kW under längre tid än undersökta 15 minuter endast skulle ge upphov till något högre temperaturer än de uppmätta. Utifrån örtsedumtakets konstruktion och vegetationens egenskaper som bränsle anses det dock inte som sannolikt att taktäckningen i sig självt kan bibehålla en brand som kan ge upphov till sådan strålningsintensitet under en speciellt lång tid. Vid samtliga försök där antändning av vegetationen skedde (både genombränningsförsök och spridningsförsök) brann vegetationen av eller självlocknade efter 30 – 40 sekunder. Det enda scenario som skulle kunna ge värre strålningspåverkan än den som använts i genombränningsförsöken och därigenom kunna utmana jordsubstratets isolerande förmåga är i det fall att en extern, intensiv och långvarig strålningskälla tillåts påverka taktäckningen under lång tid.

I frågan om brand i örtsedumtak kan ge upphov till brandspridning via gnistor eller flygbränder tyder försöken genomgående på att energiinnehållet i gnistor genererade av brand i örtsedumvegetationen är för låg för att antändning av mottagande material ska ske. Dock ska det poängteras att de provkroppar som använts i försöken inte kan anses vara fullt utvecklade avseende vegetationens höjd och täthet. Observerad kastlängd för gnistor var som längst något längre än två meter. Detta är mycket kortare kastlängder än de som presenterats tidigare i rapporten under stycke 4.2.4. Då beräknade kastlängder redan skiljer sig mellan angivna källor i litteraturstudien (30 – 200 meter) bidrar försöken till att ytterligare belysa osäkerheten i uppskattningen av gnistor och flygbränders spridningslängder. Det ska dock tilläggas att de bränsletyper som använts i beräkningar av Alexander (2006) och Koo et al. (2012) båda har högre bränsledensitet än den vegetation som använts vid försöken i denna studie. Detta medför att kastlängden för gnistor från en brand i örtsedumtakets vegetation kan antas vara betydligt kortare i och med gnistornas mindre storlek och lägre energiinnehåll. Större flygbränder eller sjuk av brinnande vegetation observerades inte i något av försöken. Vid användande av örtsedum som taktäckning kan det därför antas att spridning av brand till följd av gnistor inte är att se som ett stort hot, varken till övrig taktäckning eller till andra delar av örtsedumtakets.

Antändning av örtsedumtakets vegetation till följd av gnistor eller flygbränder kan endast förväntas ske i de fall då den externa tändkällan är så pass stor att den kan ge upphov till så stor energiökning hos växtligheten att denna uppnår sin aktiveringsenergi och således fattar eld. Den energimängd som krävs har inte undersökts närmare i denna studie, men utifrån observationer vid utförda spridningsförsök kan det konstateras att det krävs mer än gnistor från träribbstapeln och den brinnande vegetationen för att detta ska inträffa.

För att kontrollera huruvida brandens storlek har inverkat på brandens förmåga att sprida sig över hinder utfördes, som tidigare nämnt ett extra försök där den initiala provkroppens längd fördubblades (e.g. provkropp med måtten 30 x 100 cm). Iakttagelser från detta försök tyder på att större bränslearealer inte medför mer intensiv brand och således inte heller större spridningsrisk. I och med att örtsedumvegetationen brinner av relativt snabbt så bibehålls en öppen låga längs med eldbandet (flamfronten i vegetationsbränder) endast. Detta beteende går enkelt att känna igen från normala gräs och hyggesbränder och att örtsedumvegetationen uppvisar liknande egenskaper är föga förvånande. En egenskap som dock kan förväntas påverka brandens intensitet, flamhöjd och således även spridningsförmåga är vegetationens höjd och täthet. En högre vegetation skulle ju per definition medföra en högre flamhöjd, vilket utifrån observationer från försök skulle främja flamspridningen. Vid de fall i försöken då spridning över den obrännbara zonen och till mottagande provkropp skedde var detta en följd av direkt kontakt med flamma. En längre flamma när, vid utböjning från vindpåverkan längre än vad en kortare flamma gör och således borde den längre flammen kunna övervinna bredare hinder i bränslebädden.

Vid anläggning av örtsedumtak bör alltså hänsyn tas till vegetationens fullt utvecklade höjd då man dimensionerar säkerhetsavstånd och obrännbara barriärer. En rimlig riktlinje är att bredden på den obrännbara zonen som minst inte bör understiga vegetationens fullt utvecklade höjd. Den vegetation som provats i genomförda försök var som ovan nämnt relativt ung och inte särskilt välutvecklad. Medelhöjden av provkropparnas vegetation var ungefär tio centimeter och spridning över obrännbar zon skedde endast i två av försöken med en obrännbar zon av tio centimeter. I fullt utvecklat stadium antas en örtsedumvegetation på använd typ av taktäckning kunna uppnå en medelhöjd av ungefär 50 centimeter, varför säkerhetsavstånd bör anpassas efter detta. I undersökta standards och riktlinjer från länder runtom i världen är det vanligt förekommande att man rekommenderar skyddsavstånd av obrännbart material av minst 50 centimeter runt genomföringar och uppstickande installationer. Vid sektionering av takarean förespråkas bredare obrännbara zoner mellan 90 och 180 centimeter (se Tabell 6). Utifrån resultat från försöken kan det som ovan nämnt konstateras att brandspridning via gnistor är ytterst osannolikt, även vid fullt uttorkad vegetation. Brandspridning sker endast i de fall då flammen kommer i direktkontakt med bränsle på den mottagande provkroppen. Det är därför rimligt att dimensionera de obrännbara zonerna efter vegetationens fullt utvecklade höjd och förväntad längd av vindpåverkad och utböjd flamma. I de försök som utförts vid mest gynnsamma förhållanden för brandspridning (vindpåföring 6 m/s och torr provkropp) observerades en sträckning av flammen av ungefär 15 – 25 centimeter framför den första provkroppens slut, vilket kan ses som direkt relaterat till bränslets höjd, fuktighet, täthet och vindhastigheten. I detta fall kan alltså flammans sträckning uppskattas vara ungefär 15 centimeter längre än själva vegetationen, något som bredden på obrännbara zoner bör ta hänsyn till. Då provkroppar med högre växande vegetation inte funnits tillgängliga för provning kan inga direkta samband mellan flammhöjd, utböjning och vegetationshöjd tas fram. Detta är något som bör utredas vidare för att dimensionering av säkerhetsavstånd ska kunna göras mer i detalj. Utifrån försök gjorda i denna studie kan det däremot sägas att spridning inte sker i de fall då den obrännbara zonen bredd överstiger vegetationens medelhöjd, dock bör en säkerhetsmarginal läggas på för att ta hänsyn till ovanstående. Därför kan bredden 90 centimeter antas vara rimligt för obrännbara skyddszoner vid en vegetation med fullt utvecklad höjd av 50 cm. Denna bredd ger en säkerhetsmarginal mot flammans utsträckning av 30 centimeter vilket kan anses som tillräckligt för att begränsa och förhindra spridning.

Något som stått klart efter utförda försök är att torr, död vegetation snabbt fattar eld och brinner vid kontakt med öppen låga, medan frisk och halvtorr vegetation verkar brandhämmande och dämpar eller förhindrar brandens spridning. Denna observation stämmer väl överens med Granströms (2006) teorier kring gräs och örter bränsleegenskaper. Detta bör beaktas vid anläggning av örtsedumtak då underhåll av vegetationen på så vis att torra partier inte tillåts uppstå kan ses som en brandskyddsåtgärd. Utifrån detta är det viktigt att hålla de obrännbara zonerna fria från död vegetation och gallra ut döda och vissna växter med jämna mellanrum. I litteraturstudien visas det att den mest brandfarliga årstiden för bränsletyper av gräs och örter är vår och tidig sommar. Det är därför viktigt att efter vintern se över taktäckningen och rensa bort dött material och på så vis säkerställa taktäckningens brandskydd innan den torrare perioden. Vid perioder av extrem torka (ingen nederbörd och mycket låg relativ fuktighet) kan även bevattning av taket användas för att upprätthålla ett adekvat brandskydd.

11. Slutsatser

Efter genomförd studie kan slutsatser dras kring de tidigare presenterade frågeställningarna:

- Hur beter sig ett grönt tak av typen örtsedumtak vid händelse av brand?
- Ger gröna tak av typen örtsedum upphov till risk för brandspridning i urbana miljöer?

Det observerades att den taktäckning av örtsedum som undersöktes i denna studie inte kan anses utgöra en större brandfara. Vid normalt svenskt klimat sjunker bränslefukthalten i taktäckningsmaterialet sällan under den gräns då det kan anses utgöra en uppenbar brandfara i form av mer storskalig brandspridning. Vid utförda försök har olika fukthalter hos provkropparna undersökts, två av tre fukthalter grundar sig i konservativa antaganden kring svenskt klimat. Vid provning av den torra vegetationen kan det konstateras att en snabb brandspridning över vegetationen sker, men då ingen spridning över hinder inträffar anses detta inte direkt bidra till risken sett ur ett större perspektiv. Det ska dock tilläggas att undersökta provkroppars vegetation inte var fullt utvecklad och studien kan således inte användas för att dra generella slutsatser kring tätare och mer högväxande takvegetation.

Det kan konstateras att den typ av jordsubstrat som används vid anläggning av örtsedumtak innehåller en god isolerande förmåga, varför kritiska temperaturer under detta substratlager osannolikt kan uppstå. I och med detta är jordsubstratlagret att betrakta som ett obrännbart underlag i sig, oavsett underliggande bjälklagskonstruktion. Detta så länge jordsubstratlagret innehåller en tillräcklig tjocklek och en låg andel organiskt innehåll.

Gnistors energiinnehåll och kastlängder anses även de osannolikt kunna bidra till omfattande brandspridning utifrån utförda försök. Vid samtliga försök kunde det konstateras att gnistors energiinnehåll och brinntid är för låg för att spridning till mottagande material ska kunna ske. Vilken kastlängd man kan förvänta sig från en vegetationsbrand är fortfarande något oklar. Detta då tidigare studier genererat olika resultat och då de provkroppar som använts vid författarnas egna försök inte haft fullt utvecklad vegetation.

Att skyddsavstånd, brandgator eller skyddsbarriärer av obrännbart material kan fungera begränsande mot omfattande brandspridning i örtsedumvegetationen står efter försöken klart. Försöken indikerar att bredden på dessa obrännbara zoner bör vara utformad så att den aldrig understiger vegetationens fullt utvecklade höjd med en säkerhetsmarginal.

Precis som vid många andra system för brandskydd och begränsning av brandspridning bör statusen på örtsedumtakets brandskydd ses över och underhållas kontinuerligt över tid. Detta underhåll bör främst syfta till att gallra ut död vegetation och att hålla obrännbara zoner fria från vegetation. Då det kan konstateras att brandrisken för denna typ av vegetation är som störst under vår och tidig sommar bör sådan skötsel genomföras straxt före denna torrare period på året, förslagsvis under tidig vår. Vid behov bör taket även bevattnas för att förhindra omfattande uttorkning av vegetationen.

Med bakgrund i dessa slutsatser kan det alltså som svar på den första frågeställningen konstateras följande:

- Den lågväxande vegetationen hos provkropparna bränns snabbt av vid låga bränslefukthalter, men brand tenderar att självslockna vid bränslefukthalter som kan relateras till normalt svenskt klimat
- Brandspridningshastigheten ökar med ökande vindstyrka, upp till den gräns då blow-off effekter inträder
- Ingen brandspridning över sektioneringen observerades i de försök som utförts med en obrännbar barriär bredare än vegetationens höjd
- Jordsubstratet innehåller goda isolerande egenskaper, vilket motverkar att kritiska temperaturer uppnås vid underliggande lager
- Gnistors energiinnehåll är enligt utförda försök inte tillräckligt stort för att sprida brand

Med anledning av detta kan den andra frågeställningen besvaras med att gröna tak av typen örtsedum utifrån denna studie och dess förutsättningar endast kan anses ge en begränsad ökning av risk för brandspridning i urbana miljöer.

12. Förslag på framtida forskning

För att kunna validera de riktlinjer som läggs fram i denna rapport, och ge ytterligare tyngd till våra argument bör mer omfattande provningar av taktäckning av örtsedumtyp genomföras. Dessa provningar bör inrikta sig på ett antal olika parametrar, enligt följande teman:

- Hur liten måste fraktionen av organiskt material i jordsubstratet vara för att det ska kunna betraktas som obrännbart?
- Vilka örter och gräs uppvisar bäst motstånd mot brand och brandspridning, och är således bäst lämpade att användas vid anläggning av örtsedumtak?
- Mer utförliga provningar bör genomföras på provkroppar med högre och tätare växtlighet för att säkerställa att obrännbara zoner kan hindra omfattande brandspridning på örtsedumtak.

Utöver detta bör en fallstudie genomföras för att kartlägga hur svåra (men fortfarande rimliga) torkperioder påverkar örtsedumtak med avseende på bränslefukthalt.

Förutom dessa materialspecifika undersökningar kan det även vara intressant att genomföra en kostnad-nyttoanalys av effekten av fast installerade bevattnings-/taksprinklersystem kopplade på detektorer, vid anläggning av örtsedumtak.

Litteraturförteckning

- Alexander, M. (2006). *Maximum Spot Fire Distances for Burning Piles and Wind-driven Surface Fires in Non-canopied Fuel Types based on Albini's Models*. Hinton, Alberta: Wildland Fire Operations Research Group, Forest Engineering Research Institute of Canada.
- American National Standards Institute & Single Ply Roofing Industry. (2016, 07 14). *Standards of Single Ply Roofing Industry*. Retrieved from standards.spri.org:
http://standards.spri.org/apps/group_public/download.php/673/
- Ansel, W., & Appl, R. (2012). *Green Roof Policies - an international review of current practices and future trends*. Nürtingen: International Green Roof Association (IGRA).
- Appl, R. (2011, November 18). *New Fire Protection Tests on Green Roofs*. Retrieved from Zinco-green roofs:
http://www.zinco-greenroof.com/EN/news/press_releases/press_release_details.php?id=64
- Architectural Testing, Inc. (2014). *ASTM E108 - Test Report, Report No.: D8409.01-121-24*. Maryland: Furbish Company.
- Axelsson, J., van Hees, P., & Blomqvist, P. (2002). *Cable Fires in difficulty accessible areas*. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- Banting, D., Doshi, H., Li, J., & Missios, P. (2005). *Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto*. Toronto: Ryerson University.
- Bara Mineraler AB. (2016, Mars 9). *Hekla Gröna Tak*. Retrieved from baramineraler.se:
http://baramineraler.se/images/pdf/HeklaGronaTak_2016.pdf
- Berndtsson, J. C., Bengtsson, L., & Jinno, K. (2009, 03 04). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35(3), pp. 369-380.
- BFS 2013:12. (n.d.). *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*. Karlskrona: Boverket.
- BG Byggros AB. (2016, Augusti 14). *Rotresistent lager*. Retrieved from Byggros:
<http://www.byggros.com/se/produkter/taktradgaardar-och-sedumtak/diadem-systemkomponenter-till-grona-tak/rotresistent-lager>
- BG Byggros AB. (2016, Augusti 14). *Vegetation till extensiva tak*. Retrieved from Byggros:
<http://www.byggros.com/se/produkter/taktradgaardar-och-sedumtak/diadem-systemkomponenter-till-grona-tak/organiskt-material/vegetation-till-extensiva-tak>
- Björk, F. (2004). *Green roofs effect on durability of roof membranes*. Stockholm: Division of Building Technology, Department of Civil and Architectural Engineering, KTH.
- Blanusa, T., Vaz Monteiro, M. M., Fantozzi, F., Vysini, E., Li, Y., & Cameron, R. W. (2013, 01). Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? *Building and Environment*, 59, pp. 99-106.
- Breuning, J. (2008). Fire & Wind on Extensive Green Roofs. *Greening Rooftops for Sustainable Communities conference, awards & trade show*, (pp. 1-6). Baltimore.
- Carter, T. L., & Rasmussen, T. C. (2006, 10). Hydrological behavior of vegetated roofs. *Journal of the american water resources association*, 42(5), pp. 1261-1274.
- Drysdale, D. (1985). *An Introduction to Fire Dynamics*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*. London: Timber Press.
- Edwards, Y. (2014). *Hållbara Gröna Anläggningar/ tak på Betongbjälklag - En översikt*. Stockholm: CBI Betonginstitutet.
- Ellis, P. F. (2000). *The Aerodynamic and Combustion Characteristics of Eucalypt Bark - A Firebrand Study*. Canberra: Australian National University.

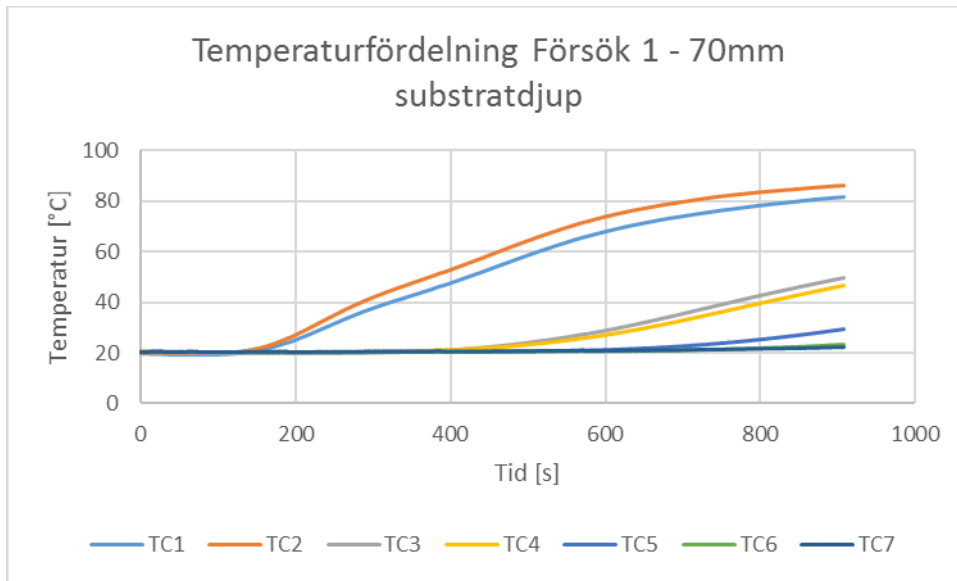
- Finja. (2016, November 2). *Finja Säkerhetsdatablad*. Retrieved from Finja:
http://www.finja.se/App_Resource/Product/PDF/SDB/681002015-1.pdf
- Firu, C., & R. (2014). New Methods and Technologies in the Construction Area of Urban Landscapes - Green Roofs. *Geopolitics, History, and International Relations*, 6(1), 241-244.
- FM Global. (2016, 07 14). *City of Berkeley*. Retrieved from Official Website of the City of Berkeley, CA:
http://www.ci.berkeley.ca.us/uploadedFiles/Planning_and_Development/Level_3_-_Energy_and_Sustainable_Development/Factory%20Mutual%20Green%20Roof%20System.pdf
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL). (2008). *Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing*. Bonn: Research Society for landscape Development and Landscape Construction.
- Gaffin, S., Rosenzweig, C., Parshall, L., Beattie, D., Berghage, R., O'Keeffe, G., & Braman, D. (2006). Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. *Greening Rooftops for Sustainable Communities*, (p. 15). Boston.
- Govett, R., Mace, T., & Bowe, S. (2010). *A Practical Guide for the Determination of Moisture Content of Woody Biomasses - a practical handbook for basic information, definitions, calculations, practices and procedures for purchasers and suppliers of woody biomass*. Madison: University of Wisconsin.
- Granström, A. (2006). *Skogsbrand. brandbeteende och tolkning av brenndriskindex*. Karlstad: Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap.
- Gregoire, B. G., & Clausen, J. C. (2011, 01 24). Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, 37, pp. 963-969.
- Hansen, R. (2003). *Skogsbrandsläckning*. Karlstad: Statens Räddningsverk.
- Huggett, C. (1980). Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements. *Fire and Materials*, 4(2), 61-65.
- Isover Saint-Gobain. (2016, November 2). *Isover Saint-Gobain - Säkerhetsdatablad för Styrolit*. Retrieved from Isover:
http://www.isover.se/sites/isover.se/files/assets/documents/Sakerhetsdatablad_Styrolit.pdf
- Kaplan, S., & Garrick, B. J. (1981). On the Quantitative Definition of Risk. *Risk Analysis*, 11-27.
- Karlgren, B.-E. (2016, Augusti 9). Angående Örtsedumtak och provningsmetoder. (A. Elias, Interviewer)
- Kim, K.-G. (2004). The Application of the Biosphere Reserve Concept to Urban Areas. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1023, 187-214.
- Koo, E., Linn, R. R., Pagni, P. J., & Edminster, C. B. (2012). Modelling firebrand transport in wildfires using HIGRAD/FIRETEC. *International Journal of Wildland Fire*, 21, 396-417.
- Koo, E., Pagni, P. J., Weise, D. R., & Woycheese, J. P. (2010). Firebrands and spotting ignition in large-scale fires. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 818-843.
- Lastrina, F., Magee, R., & McAlevy III, R. (1971). Flame Spread Over Fuel Beds: solid-phase energy considerations. *Symposium (International) on Combustion*, 13(1), 935-948.
- Li, W., & Yeung, K. (2014, 06). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), pp. 127-134.
- livingroofs.org. (2016, 08 18). *livingroofs.org - making cities greener*. Retrieved from Energy Conservation:
<http://livingroofs.org/energy-conservation/>
- Länsstyrelserna. (2006). *Översvämningsrisker i Fysisk Planering: rekommendationer för markanvändning vid nybebyggelse*. Stockholm: Länsstyrelserna.
- Maclvor, J. S., & Lundholm, J. T. (2011, 03). Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological Engineering*, 37(3), pp. 407-417.

- Minnesota Department of Natural Resources. (2016, Augusti 17). *Fire danger index*. Retrieved from Minnesota Department of Natural Resources: http://www.dnr.state.mn.us/forestry/fire/maps/fdi_canadian.html
- Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. (2011). *Vägledning för risk- och sårbarhetsanalyser*. Karlstad: MSB.
- Nordtest. (1985). *NT Fire 006 - edition 2*. Esbo: Nordtest.
- Office of the Chief Building Official. (2013). *Toronto Green Roof Construction Standard - supplementary guidelines*. Toronto: Toronto Building.
- Okey Obi, F., Sunday Ezeoha, L., & Chidinma, O. (2016). Evaluation of Air Oven Moisture Content Determination Procedures for Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.). *International Journal of Food Properties*, 19, 454-466.
- Osmundson, T. (1999). *Roof Gardens: history, design, and construction*. New York: W. W. Norton & Company.
- Piga, C. (1995). *Grönare Tak: extensiv vegetation på tak*. Alnarp: Motivum, sekretariatet för den yttre miljön, vid Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp.
- Rothermel, R. C., & Anderson, H. E. (1966). *Fire Research Characteristics Determined in the Laboratory*. Ogden, Utah: U.S. Department of Agriculture.
- Schevin, C. (2013, November 27). *ASTM E108 Standard Test Methods for Fire Test of Roof Coverings*. Retrieved from Palmex International: http://www.palmex.fr/wp-content/uploads/2014/03/ASTM-E108_.pdf
- SFS 1842:44. (n.d.). *Byggnadsordning*. Stockholm: Näringsdepartementet.
- SFS 2010:900. (n.d.). *Plan- och bygglag*. Stockholm: Näringsdepartementet.
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. (2016, Augusti 9). *Information om CEN/TS 1187, test 2*. Retrieved from SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut: https://www.sp.se/sv/index/services/firetest_building/firetest_bu%C3%ADlding/cents1187/Sidor/default.aspx
- SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. (2016, Augusti 18). *Vegtech*. Retrieved from Vegtech - Brandklassning: http://www.vegtech.se/upload/files/PDF/Brandklassning_VegTech_Sedummatta.pdf
- Sundström, B. (2016, Augusti 10). *Nu får vi CE-märkta tak enligt Nordisk brandprovningstandard*. Retrieved from Takproducenterna.se: http://www.takdukproducenterna.se/downloads/Taktackningar_Bygg_och_teknik_ver2.pdf
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. (2016, 08 19). *SMHI*. Retrieved from Relativ luftfuktighet - Stockholm - Kvalitetskontrollerade historiska data (utom de senaste 3 mån): <http://opendata-download-metobs.smhi.se/api/version/latest/parameter/6/station/98210/period/corrected-archive.atom>
- Sørensen, L. S. (2013). *Brandforhold ved stråtage*. Aalborg: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Taylor, S., Pike, R., & Alexander, M. (1996). *Field Guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System*. Victoria, British Columbia: Canadian Forest Service.
- The Green Roof Organisation. (2016, 07 14). *Livingroofs*. Retrieved from Livingroofs.org, the leading UK Green Roof website: <http://livingroofs.org/wp-content/uploads/2016/03/grocode2014.pdf>
- United States Department of Agriculture. (2016, Augusti 16). *HIGRAD/FIRETEC*. Retrieved from Forest and Woodland Ecosystems Science Program: <http://www.fs.fed.us/rm/forest-woodland/higrad-firetec/>
- Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2009). Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. *Building and Environment*, 44, 1081-1087.

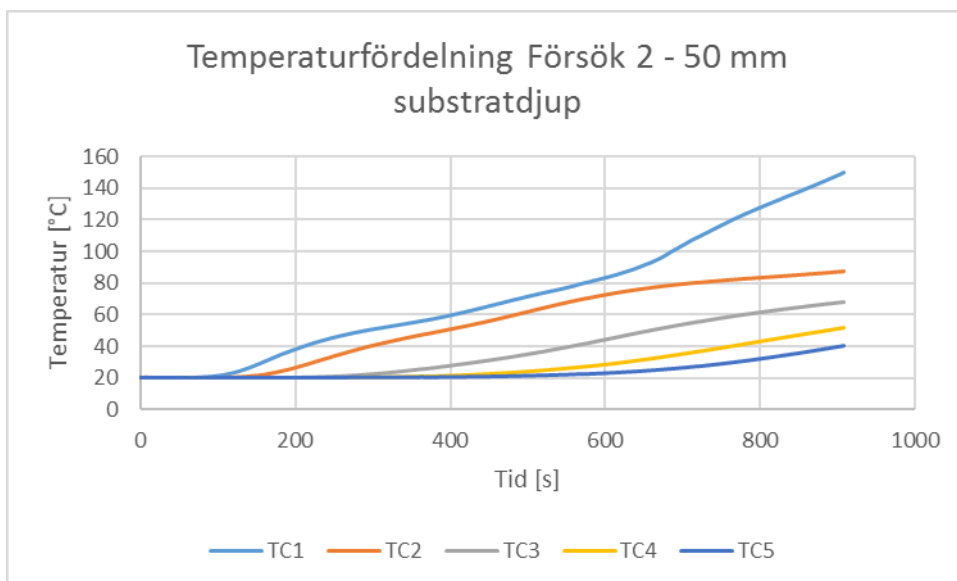
- Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2011). In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building and Environment*, 46, 729-738.
- Veg Tech AB. (2016, Juli 14). *Grodan - vattenhållande lager*. Retrieved from Veg Tech: <http://www.vegtech.se/grona-tak---gardar/sedum-ort-grastak/grodan---vattenhallande-lager/>
- Veg Tech AB. (2016, Augusti 10). *Nophadrain - dräneringslager*. Retrieved from Veg Tech: http://www.vegtech.se/upload/files/PDF/Vegtech_Produktinfo_Nophadrain.pdf
- Veg Tech AB. (2016, Juli 14). *Sedum-ört-gräsmatta*. Retrieved from Veg Tech: <http://www.vegtech.se/grona-tak---gardar/sedum-ort-grastak/sedum-ort-grasmatta/>
- Veg Tech AB. (2016, Juli 14). *Takjord*. Retrieved from Veg Tech: <http://www.vegtech.se/grona-tak---gardar/sedum-ort-grastak/takjord/>
- Veg Tech AB. (2016, Juli 14). *WSB 80 - rotskydd*. Retrieved from Veg Tech: <http://www.vegtech.se/grona-tak---gardar/sedum-ort-grastak/wsb-80---rotskydd/>
- VegTech AB. (2016, Augusti 18). *Vegetationsteknik*. Retrieved from VegTech AB: <http://np.netpublicator.com/netpublication/n50161628>
- Wetterlund, I. (2004). *ENV 1187 test method 2 Improvement of test equipment and procedure*. Borås: Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP.
- Wong, N. H., Chen, Y., Ong, C. L., & Sia, A. (2003). Investigation of Thermal Benefits of Rooftop Garden in the Tropical Environment. *Building and Environment*, 38(2), 261-270.
- Xiaoping, M., Huimin, L., & Qiming, L. (2009). A Comparison Study of Mainstream Sustainable/Green Building Rating Tools in the World. *International Conference on Management and Service Science*, (pp. 1-5).
- Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008, 10). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), pp. 7266-7273.

Bilaga A – Genombränning

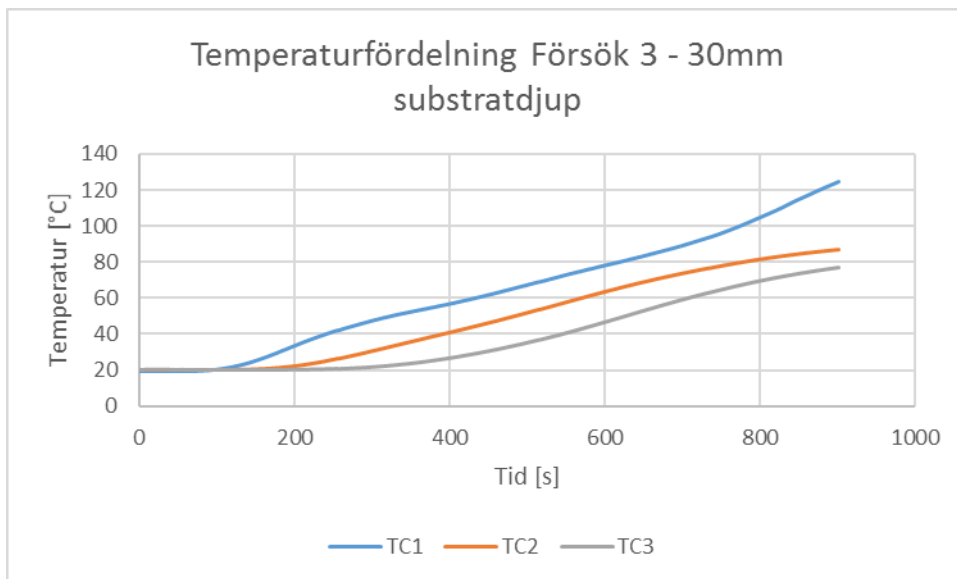
I följande bilaga redovisas temperaturprofiler för de genomförda försöken för genombränning.



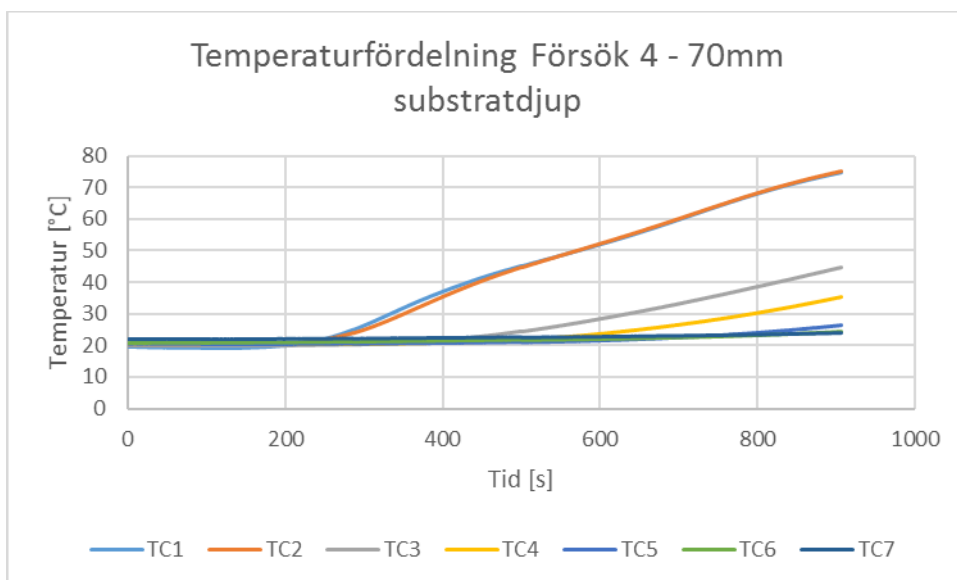
Figur A-1: Temperaturfördelning för frisk provkropp med 70 mm substratdjup samt pilotläga



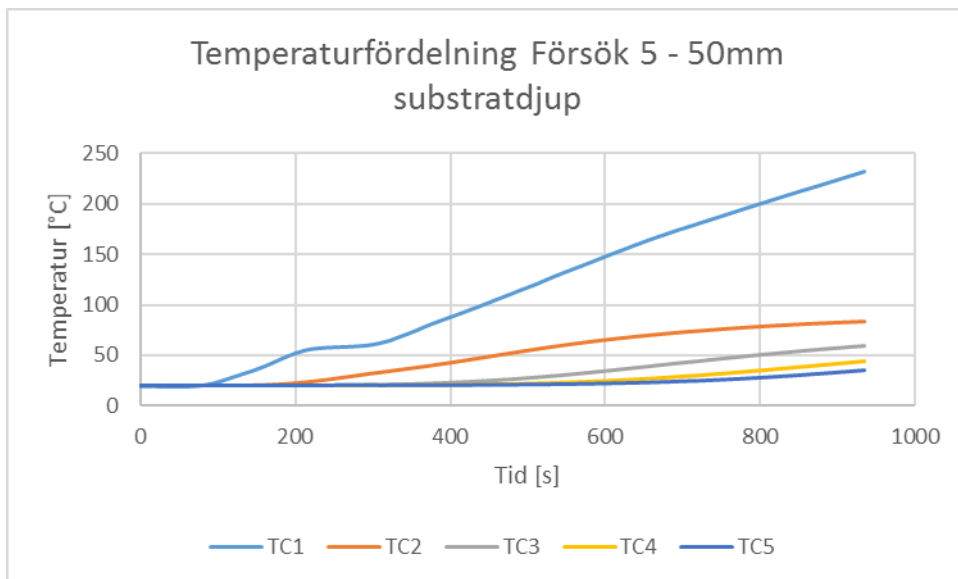
Figur A-2: Temperaturfördelning för frisk provkropp med 50 mm substratdjup samt pilotläga



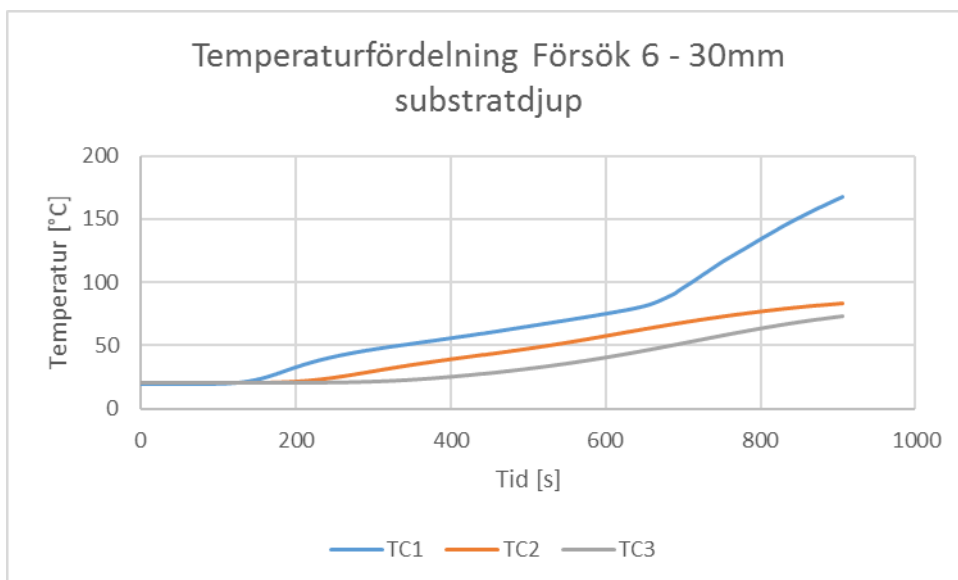
Figur A-3: Temperaturfördelning för frisk provkropp med 30 mm substratdjup samt pilotläga



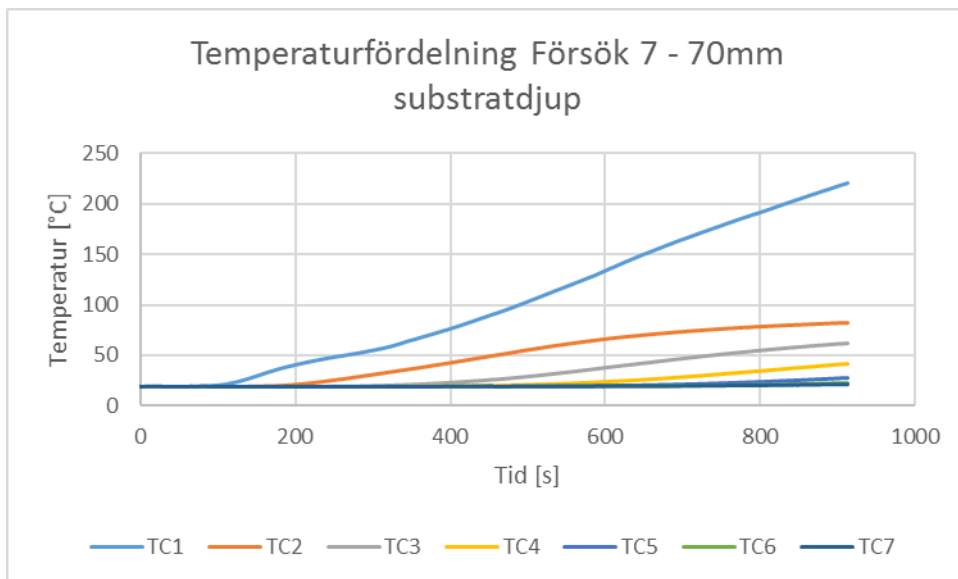
Figur A-4: Temperaturfördelning för frisk provkropp med 70 mm substratdjup



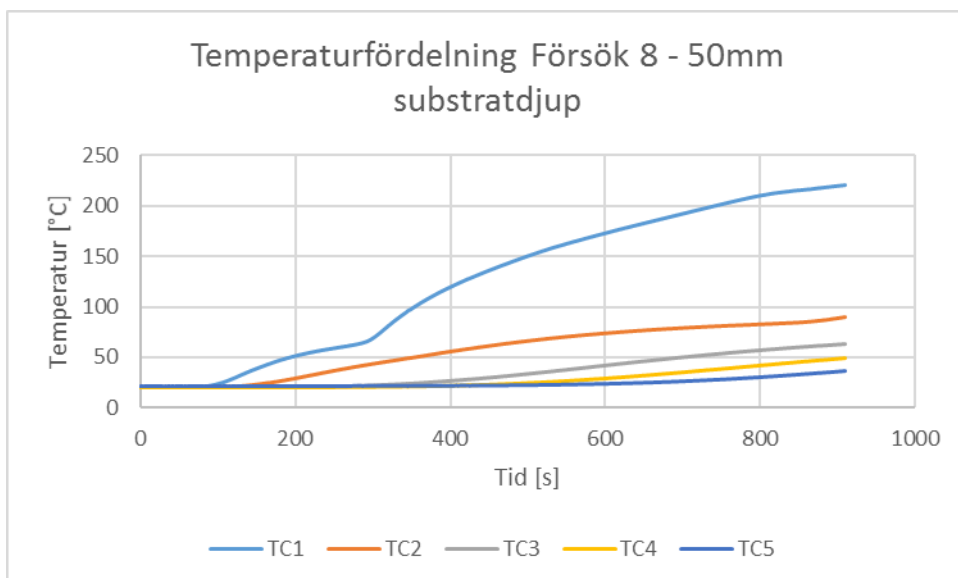
Figur A-5: Temperaturfördelning för frisk provkropp med 50 mm substratdjup



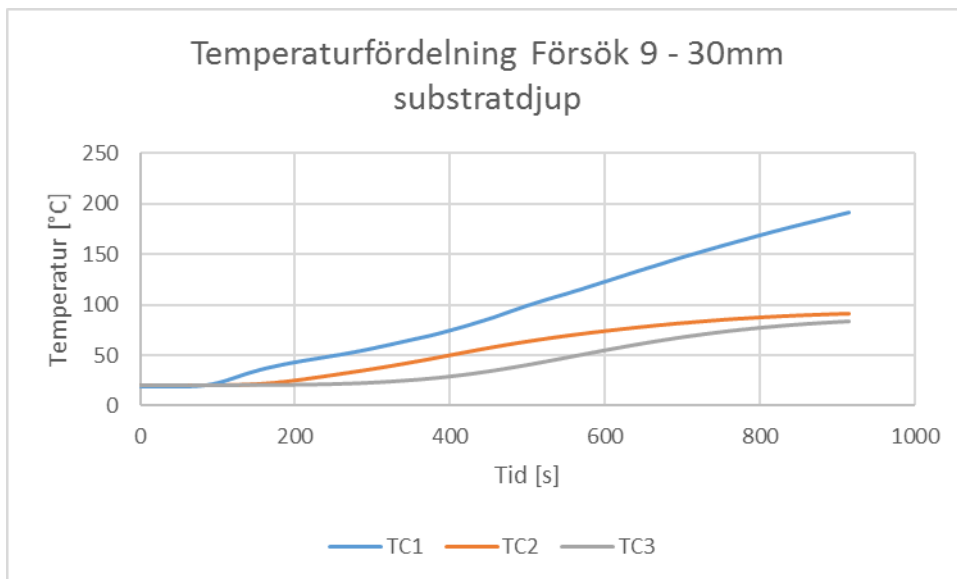
Figur A-6: Temperaturfördelning för frisk provkropp med 30 mm substratdjup



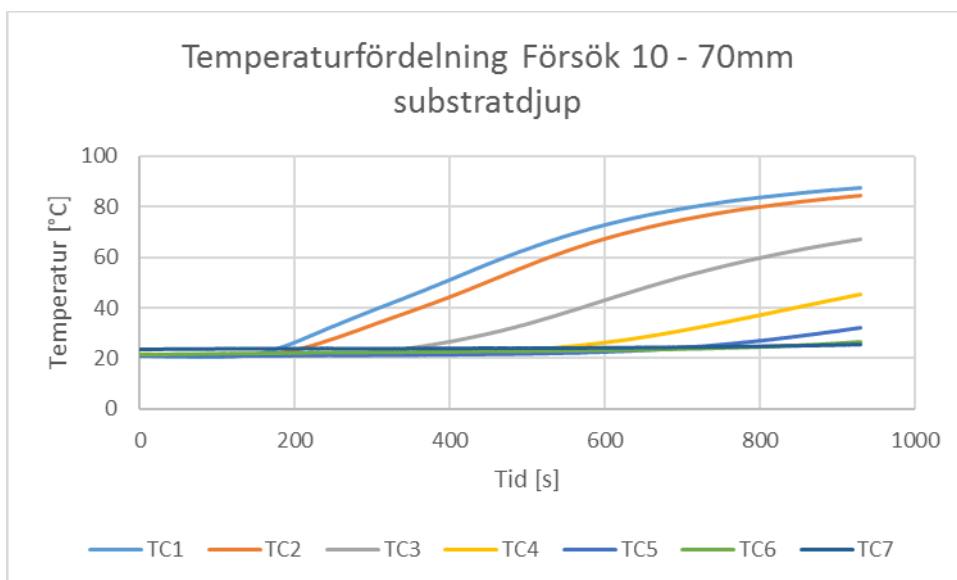
Figur A-7: Temperaturfördelning för sommartorr provkropp med 70 mm substratdjup samt pilotläga



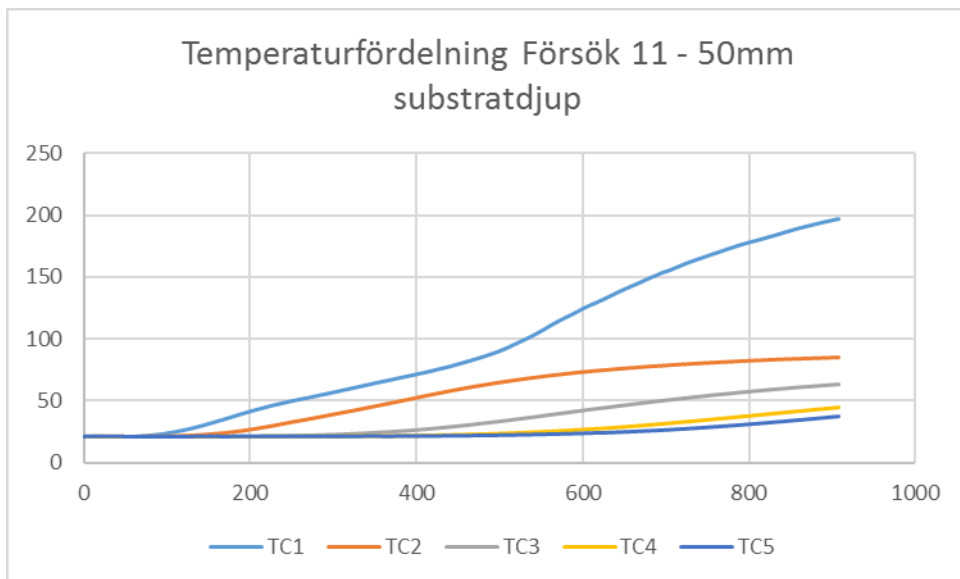
Figur A-8: Temperaturfördelning för sommartorr provkropp med 50 mm substratdjup samt pilotläga



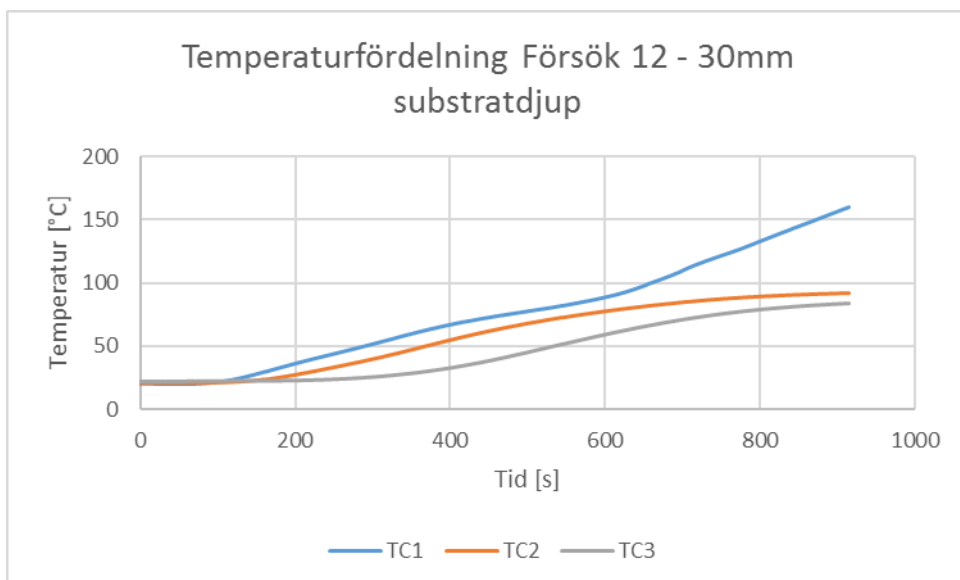
Figur A-9: Temperaturfördelning för sommartorr provkropp med 30 mm substratdjup samt pilotläga



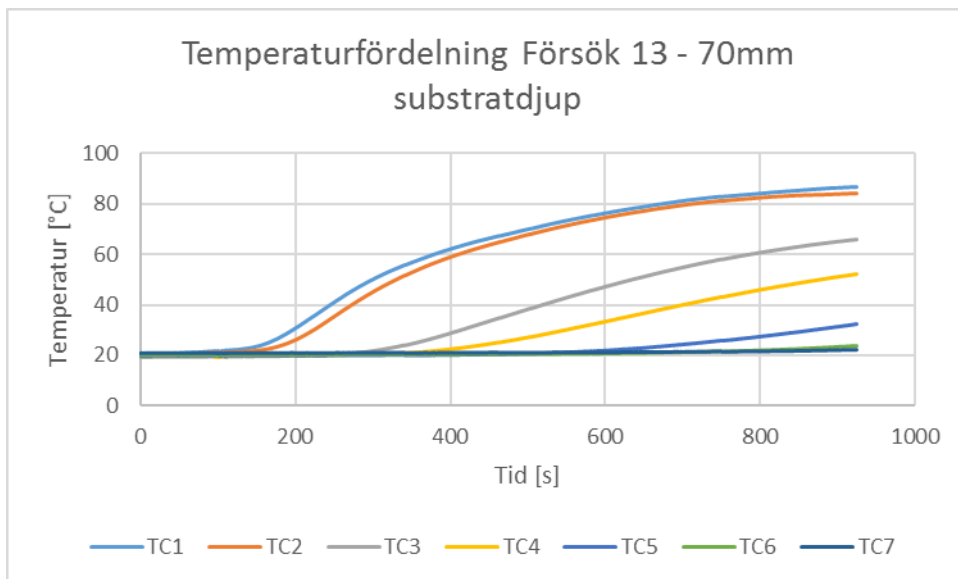
Figur A-10: Temperaturfördelning för sommartorr provkropp med 70 mm substratdjup



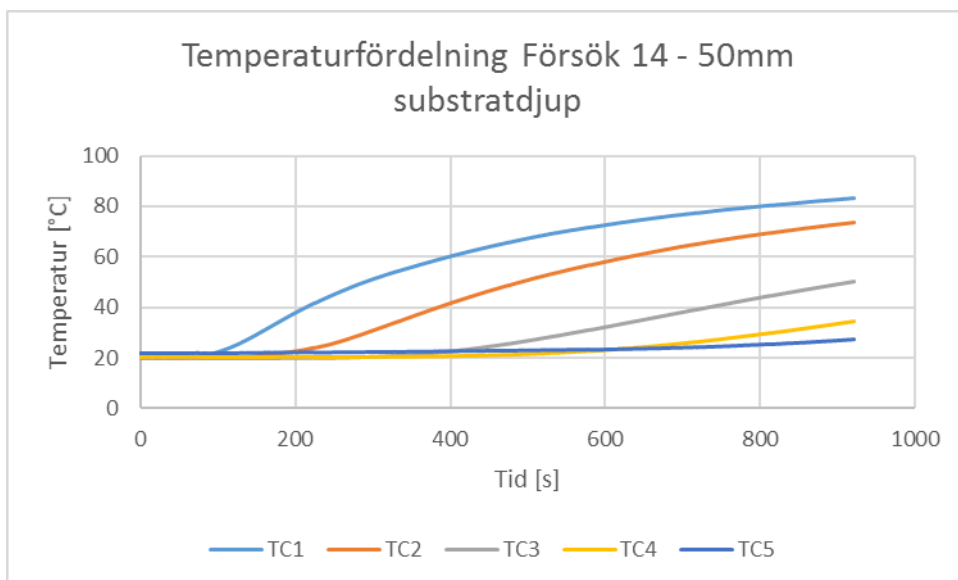
Figur A-11: Temperaturfördelning för sommartorr provkropp med 50 mm substratdjup



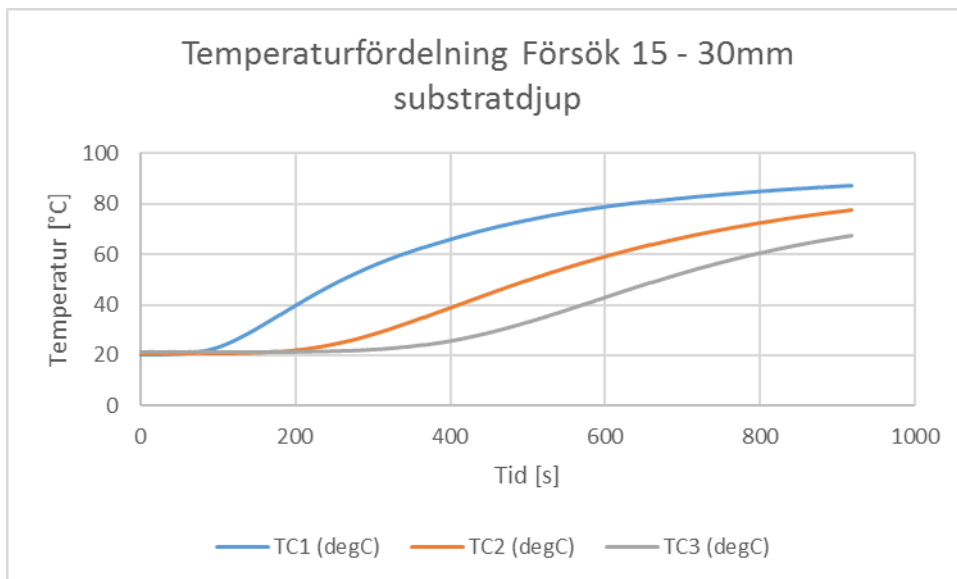
Figur A-12: Temperaturfördelning för sommartorr provkropp med 30 mm substratdjup



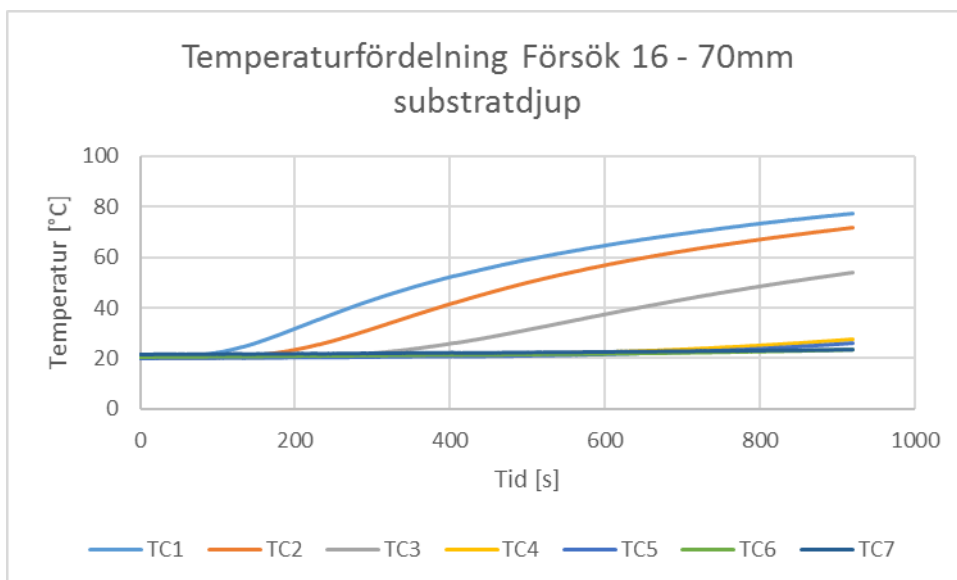
Figur A-13: Temperaturfördelning för torr provkropp med 70 mm substratdjup samt pilotläga



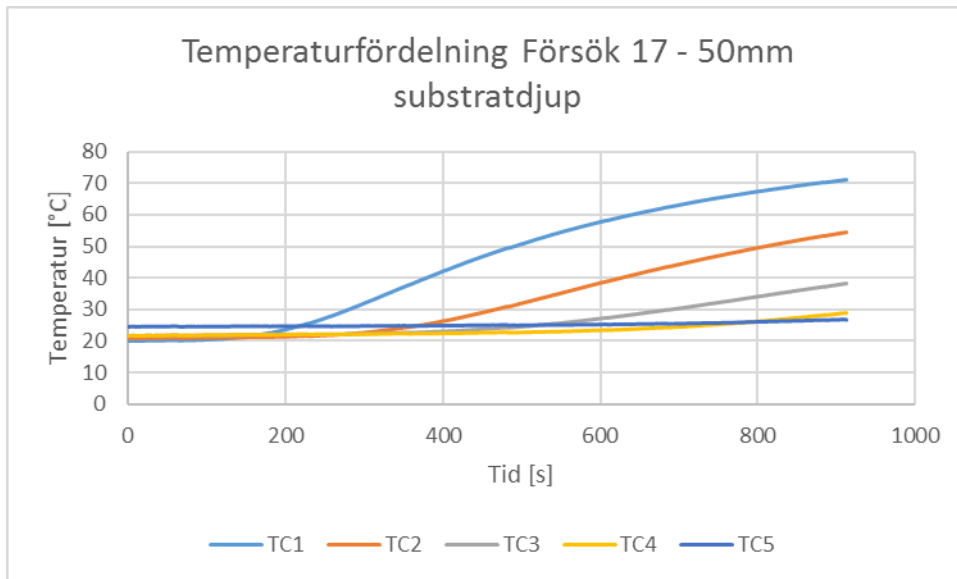
Figur A-14: Temperaturfördelning för torr provkropp med 50 mm substratdjup samt pilotläga



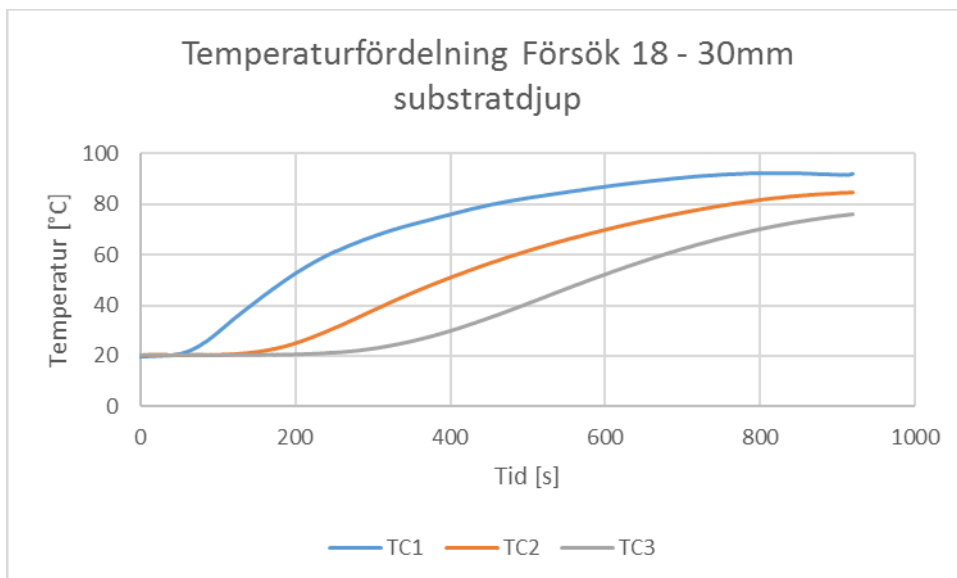
Figur A-15: Temperaturfördelning för torr provkropp med 30 mm substratdjup samt pilotläga



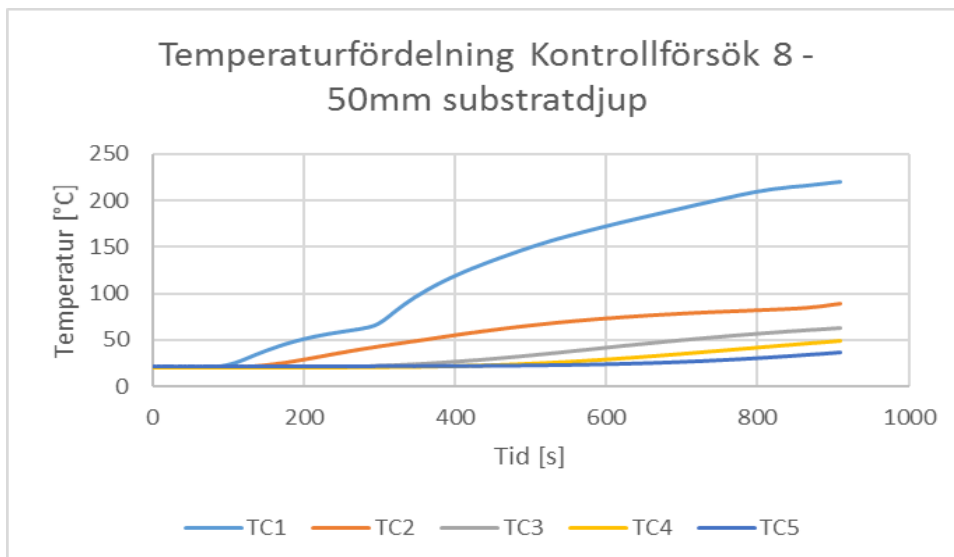
Figur A-16: Temperaturfördelning för torr provkropp med 70 mm substratdjup



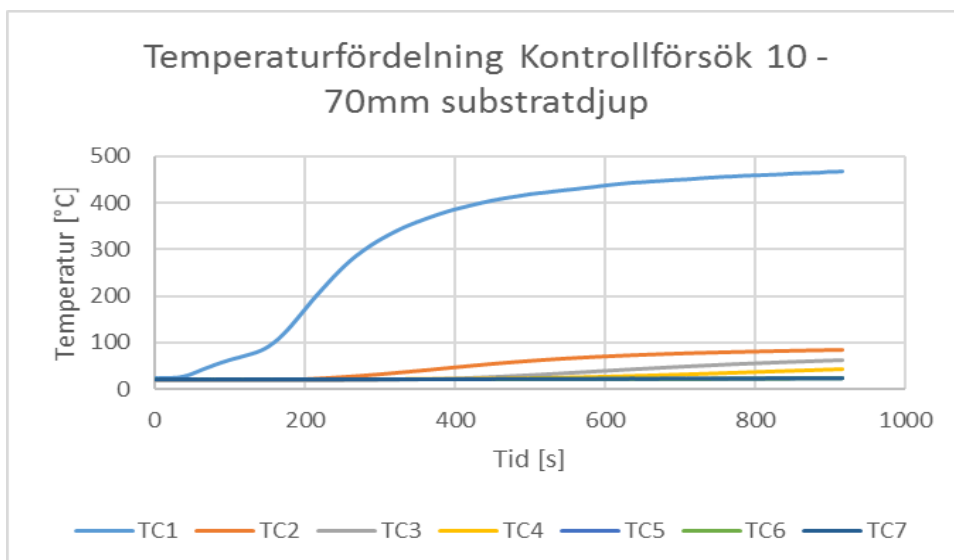
Figur A-17: Temperaturfördelning för torr provkropp med 50 mm substratdjup



Figur A-18: Temperaturfördelning för torr provkropp med 30 mm substratdjup



Figur A-19: Temperaturfördelning för kontrollförsök 8, sommartorr provkropp med 50 mm substratdjup samt pilotläga



Figur A-20: Temperaturfördelning för kontrollförsök 10, sommartorr provkropp med 70 mm substratdjup

Bilaga B – Spridning

I tabell Tabell B-1: Detaljerad sammanfattning av insamlad data från spridningsförsöken samt förklarande färgkodning för spridningsförsöken. nedan följer en utförlig beskrivning av insamlad data från spridningsförsöken. I observationer av försöken gjordes en särskiljning mellan spridning i uppstickande vegetation och brandpåverkan på provkroppen i större utsträckning. Definition av den första kategorin är observerbar förkolning av uppstickande vegetation medan den senare kräver en något mer omfattande brandpåverkan på provkroppen (fullständigt avbränd vegetation).

Tabell B-1: Detaljerad sammanfattning av insamlad data från spridningsförsöken samt förklarande färgkodning för spridningsförsöken.

Försöksnummer	Försökstid [min.s]	Spridningslängd i uppstickande vegetation [cm]	Brandpåverkat område [cm]	Kommentarer	Maxtemperatur [°C]
1	15.00	15	Endast under träribb	Inga gnistor	Ej mätt
2	8.50	35	Endast under träribb	Inga gnistor	Ej mätt
3	4.47	30	20	Enstaka gnistor, kastlängd ca 1,5 – 2 m (mest från träribbstapel)	Ej mätt
4	15.00	Endast under träribb	Endast under träribb	Ingen spridning, inga gnistor	55,3
5	7.53	30	Endast under träribb	Fåtal gnistor, medel 60 cm, max 100 cm, ingen större spridning	35
6	4.10	25	Endast under träribb	Ett antal gnistor, medel 90 cm, max 190 cm, ingen större spridning	20
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	15.00	25	25	Brandspridning i gräset, inga gnistor	73,4
11	8.30	50	50	Brandspridning vid direktkontakt med öppen låga (ej åt sidorna), gnistor medel 100 cm, max 200 cm	61

12	4.57	40	20	Ingen större spridning, blow-off effekt observerad, gnistor medel 110 cm, max 200 cm	35
13	15.00	15	Endast under träribb	Mycket få gnistor, mycket liten spridning framåt	64,4
14	10.33	25	Endast under träribb	Ingen större spridning, gnistor medel 65 cm, max 100 cm	52,4
15	4.27	25	Endast under träribb	Ett antal gnistor, medel 90 cm, max 200 cm	37
16	-	-	-	-	-
17	4.34	50 + 10 + 15	50 + 10 + 15	Spridning över obrännbar zon, självslockning i mottagande provkropp, gnistor medel 110 cm, max 200 cm, relativt omfattande vegetation	69
18	5.20	20	Endast under träribb	Gnistor medel 100 cm, max > 200 cm	43
19	15.00	50	50	I princip hela provkroppen avbrunnen efter 30 sekunder, inga gnistor, glödbrand under träribb	345
20	8.00	50	50	I princip hela provkroppen avbrunnen efter 30 sekunder, gnistor medel 100 cm, max 200 cm, glödbrand under träribb	350

21	6.00	50	50	I princip hela provkroppen avbrunnen efter 30 sekunder, gnistor medel 120 cm, max > 200 cm, glödbrand under träribb	460
22	9.42	20	Endast under träribb	Viss spridning i sidled, mindre spridning framåt (gles vegetation framför träribbstapeln), inga gnistor, glödbrand under träribb	340
23	7.51	50	50	Gnistor medel 110 cm, max 180 cm, glödbrand under träribb	300
24	5.25	50	50	Gnistor medel 110 cm, max > 200 cm, glödbrand under träribb	550
25	-	-	-	-	-
26	4.50	50	50	I provkroppen helt avbränd efter 30 sekunder, gnistor medel 110 cm, max > 200 cm, glödbrand under träribb	363
27	4.52	50 + 10 + 50	50 + 10 + 50	Spridning till mottagande provkropp (efter knappt 10 sekunder), gnistor medel 130 cm, > 200 cm, glödbrand under träribb	327
28	7.10	50	50	I princip hela provkroppen avbränd efter 25 sekunder, gnistor medel 80 cm, max 180 cm, glödbrand under träribb	462

29	3.30	50	50	Mycket gnistor, medel 130 cm, max > 200 cm, spridning i "korridor" över första provkroppen, antydning till blow-off effekt	372
30	7.15	30	Endast under träribb	Gnistor medel 90 cm, max 200 cm	70,6
31	3.27	45	Endast under träribb	Spridning i direktkontakt med öppen låga, gnistor medel 100 cm, max > 200 cm	70
32	7.20	100	100	Spridning över de båda första provkropparna (ej över barriär), gnistor medel 80 cm, max > 200 cm	310