



**Glödbrandens effekter på trädrötter
- Ett modellförsök**

*Effects of Smouldering Fire on Tree Roots
- A model experiment*



Foto: Sanna-Maja Breiman Wistbacka

Linda Bertholdsson & Sanna-Maja Breiman Wistbacka



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Linda Bertholdsson & Sanna-Maja Breiman Wistbacka
Titel, Sv	Glödbrandens effekter på Trädrötter- ett modellförsök
Titel, Eng	Smoulderingfire Effects on Tree roots
Nyckelord/ Keywords	Glödbrand, torv, rotpåverkan, fuktkvot och torrsvikt, Smouldering fire, peat, root impact, moisture content and dry weight
Handledare/Supervisor	Anders Granström, institutionen för skogens ekologi och skötsel
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0813
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Serie	Kandidatarbeten i Skogsvetenskap
Utgivningsår	2018
Försättsbild	Glödbrand på hygge, startad av brasa under älgjakten, Bullmark 2016.

FÖRORD

Denna rapport är produkten av arbetet i kursen “Kandidatarbete i skogskunskap 15hp” som genomfördes våren 2018 vid institutionen för skogens ekologi och skötsel på Sveriges Lantbruksuniversitet. Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Anders Granström för hans stora engagemang och stöd under kursens gång.

SAMMANFATTNING

Skogsbrand var tidigare ett allmänt inslag i de svenska skogarna och idag används elden i naturvårdsarbetet. För att förstå dess effekter på trädmortalitet har ett flertal studier genomförts där man har tittat på trädens försvar mot brand. Mycket är känt om hur stam och krona påverkas, men brandens inverkan på rötter som ligger skyddade under marken är förhållandevis okänt. Det är inte den flammande elden som når rötterna utan glödbanden som rör sig i markens humusskikt.

Vi utförde försök där vi brände trädgrenar placerade i kommersiell torv, detta för att simulera rötter under marken. Grenarnas fuktkvot och torrsvikt mättes innan och efter brand och temperaturutvecklingen mättes med termoelement på olika positioner i torven.

I försöken gick att urskilja ett tydligt samband mellan rötternas tjocklek och deras motståndskraft mot brand. Ved i de grövre diameterklasserna konsumerades till mindre grad än de med mindre diameter. Torvtjocklekens påverkan var mindre tydlig. En marginellt ökad konsumtion av veden gick att urskilja i de försök där torvdjupet var större. Temperaturen i torven under glödbanden hade en maxtemperatur mellan +400 och +500°C, och temperaturer > 250°C ca 1-2 timmar, vilket resulterade i att grenarnas fuktkvot sjönk markant under branden och i många fall till att veden förkolnades helt eller delvis.

Resultaten visar att grövre rötter står emot avbränningen i en högre grad än de tunna. Ett mäktigare humuslager bidrar eventuellt till högre åverkan på trädens rötter.

Nyckelord: Glödband, torv, rotpåverkan, fuktkvot och torrsvikt

SUMMARY

Forest fires once a regular occurrence in Sweden is today mainly used in nature preservation purposes. To understand its effects on forests regarding mortality there has been several studies about trees defence against fires. The effects on bole and crown are fairly well known, but the impact on roots, protected by the soil is relatively unknown. It is not the flaming fire reaching the roots but the smouldering fire that moves through the humus.

We carried out trials where we burned branches placed in commercial peat to simulate roots in the humus layer. The branches moisture content and dry weight was measured before and after fire and the temperature development was measured with thermocouples placed in different positions in the peat.

In the trials there was a clear connection between the thickness of roots and their resistance against fire. Wood with larger diameter had a smaller share consumed material than the smaller ones. The impact of peat thickness was less clear, although there was a marginally increased consumption with greater peat depths. The temperature of the peat during smouldering fire had a maximum of about +400 to + 500°C , and temperatures > 250°C for approximately 1-2 hours, resulting in a significant lower moisture content in the branches and in some cases branches becoming char during fire. Thicker roots will not be as severed as easily as the thin ones. A thicker humus layer may contribute to a higher degree of damage on tree roots.

Keywords: smouldering fire, peat, root impact, moisture content and dry weight

1 INLEDNING

Skogsbrand är ett naturligt inslag i skogar världen över som orsakar skada och död hos träd. Idag bekämpas naturliga bränder som kan skada värdefull skog eller utgöra en fara för allmänheten, men samtidigt bränns trakter av naturvårdsskäl för att bevara arter kopplade till brand och de särskilda biotoper brand skapar. Brandens påverkan på trädet skiljer sig mellan dess olika delar. Effekten på stam och krona är relativt välstuderade, men hur rötterna påverkas är ännu ett jämförelsevis outforskat område.

1.1 Förbränning

Det finns två typer av förbränning: pyrande och flammande (Rein 2013). Dessa två bestäms av vilken produkt av pyrolys som oxiderar. Pyrolys är den process där upphettning leder till sönderdelning av ett material och resulterar i fasta produkter och i gaser. Om processens intensitet är låg oxiderar bara kol och förbränning sker utan flamma medan diverse energirika gaser avgår som rök. Om intensiteten är hög förbränns dessa gaser och en flamma syns.

I en skogsbrands första skede kommer mossa och markskikt att brinna huvudsakligen med flammande eld som sedan rör sig vidare över området relativt fort. Efteråt finns glöd kvar som ofta bildar en front i marken. Fronten med glöd rör sig vertikalt framåt med några centimeter per timme (Prat-Guitrat & Rein 2016). Glödbrand i marken efter skogsbrand är ett vanligt fenomen, men dess omfattning varierar med humuslagrets fuktighet.

1.2 Värmeöverföring i marken

Värmeöverföring i jord är komplex och sker via tre mekanismer: värmestrålning, konduktion och konvektion (Aston & Gill 1987). Strålningen från en massa med hög temperatur kallas värmestrålning eller elektromagnetisk strålning och kan värma en yta utan förmedlare, alltså i vakuum. Konduktion är en fysikalisk term för när värme transporteras via ett föremål. Rörelse i gas eller vätska kallas konvektion vilket är det som leder till att vatten avdunstar och fuktigt material torkar. Dessa tre driver på processen med glödbrand tillsammans med förbränning av organiskt material (Rein 2013). Denna termiska sönderdelning eller förbränning genererar värme som strålar åt alla håll, inklusive upp mot rymden. Utstrålningen av värme är dock inte lika stor när förbränningen sker i ett mer isolerat material. Värmen som strålar ut gör att materialet värms upp, vattenmolekylerna börjar röra på sig och på så vis avdunstar fukten.

I humus och torv krävs mycket energi innan fukt evaporerar och förbränning kan börja (Rein 2013), fukthalten i torven är därför den största faktorn för om förbränning sker eller i vilken grad (Van Wagner 1972). Materialet torkar successivt vilket gör att fronten av glöd rör sig framåt (Huang & Rein 2015).

1.3 Brandens påverkan på rötter

Fenomenet att rötter kan brännas av eller konsumeras av glödbrand är observerat i naturen men ej närmare studerat. Trädens rotsystem är skyddade från flammande eld på grund av den isolering marken utgör och istället är det glödbranden som orsakar att rötterna tar skada eller

dör. Utöver direkt förbränning som leder till konsumtion av rotens biomaterial och i längden avbränning kan även värmeöverföring påverka rötterna. Cellerna tar skada av den förhöjda temperaturen vilket kan leda till kambienekros (Michaletz, S., & Johnson, E. 2007). Vilken temperatur som leder till detta är inte helt fastställt, men ett par studier har gjorts med varierande resultat. Steward et al. (1990) utgick från ett flertal variabler som rör värmeöverföring och markens fysiska egenskaper för att modellera djupet av dödlig värmeinpenetration i mineraljord. Antagandet i studien är att rötterna dör omedelbart då marktemperaturen uppnått 60° C. Kambienekros har dock observerats i rötter som utsatts för lägre temperaturer än 60° C. I ett försök med asp (*populus tremuloides* Michx) inträffade detta då rötterna utsattes för 49° C under 75 minuter (Dickinson & Johnson, 2004).

1.4 Försvar

För att roten ska skadas av glödbranden krävs att värmen tar sig in, detta sker genom att rotens yta värms av glödbranden och skillnaden i temperatur mellan rotens yttre och inre gör att värmen överförs genom konduktion (Michaletz, S., & Johnson, E. 2007). För att förhindra värmeöverföringen från mark till rot har trädet olika sätt att försvara sig. Studier har gjorts där man visar på barkens förmåga att skydda mot upphettning (Ryan 1982; Peterson & Ryan 1986). I ett försök av Dickinson (2004) kan man se hur en ökad barktjocklek hos asp (*Populus tremuloides* Michx) resulterat i en lägre andel döda celler efter bränning. I samma artikel tar författarna också upp olika trädslags termiska tolerans vilken bedöms som liten i jämförelse med barkens tjocklek. Ovanstående är inte baserat på rotens bark, utan på stambark. Rotens bark är generellt tunn och skiljer sig från stammens bark i densitet. Ryan & Frandsen (1991) presenterar ytterligare ett möjligt men outforskat försvar hos träden: massflöden genom trädets xylem och floem som ökar mängden vatten som passerar genom roten och på så sätt bidrar till en sänkt temperatur.

1.5 Syfte

Syftet med denna studie var att få en större insikt i vad som händer under marken vid glödbrand och kunna säga något om hur trädets rötter påverkas av glödbrand.

1.6 Hypotes

- Ökad diameter på rötter minskar risken för avbränning och ökar därmed trädets motståndskraft mot brand.
- Ett tjockare humuslager leder till en högre temperatur i glödzone och därmed till en större påverkan på rötterna.

2 METOD OCH MATERIAL

2.1 Förberedande försök

Detta inledande steg med testbränningar inför "Brandförsöket" gjordes för att se om materialet som användes betedde sig på rätt sätt och för att i möjligaste mån kunna identifiera och eliminera felkällor. Då detta var ett nytt område för oss erbjöd det också ett bra tillfälle att införskaffa mer kunskap om ämnet, samt bidrog till en större förståelse för grundläggande forskningsmetodik.

För att simulera humus använde vi kommersiell torv. Ett prov av torven vägdes, torkades i torkugn vid 105°C och vägdes på nytt. Skillnaden i vikt noterades och användes för att räkna ut materialets ursprungliga fuktkvot. Tre torvprover preparerades med olika fuktkvot; 8%, 20% och 50% genom att tillsätta erforderlig mängd vatten, innesluta i plastpåse och låta stå över natten för att ge materialet tid att fördela fukten homogent.

Dag 2 togs färskare grenar från tall (*Pinus sylvestris*) som fick simulera rötter (i rapporten kallad ved) med tre olika diameterklasser; 2,5 cm, 1 cm och 0,3 cm. För att bestämma fuktkvoten kapades en bit av vardera diameterklass, vägdes, torkades i torkskåp under 72h och vägdes igen. Torven lades i brandsäkra aluminiumformor (10x21 cm) och en gren av vardera dimension (totalt 3 grenar) placerades i mitten av materialet med tvärsnittet riktat mot formens kortända. Kortändan av den rektangulära formen tändes genom att lägga en sträng av tändvätska utmed kanten och starta med tändare. Glödbrandens progression kontrollerades och dokumenterades med en timmes intervall.

"Rötterna" fotograferades efter glödbranden, vägdes, torkades i torkskåp och vägdes igen för att bestämma fuktkvoten.

2.2 Huvudförsök

Bränningar utfördes vid två tillfällen med två lådor varje gång. Lådorna var av materialet minerit, en slags brandtålig cementskiva, och hade dimensionen 35 x 35 x 20 (cm). De preparerades med torv (fuktkvot 55%), grenar och en 2 cm bred spalt för papper fuktat med tändvätska som utgjorde starten för branden (figur 5.1). Tallkvistar (*Pinus sylvestris*) samlades in 1,5 dygn innan försöket och förvarades inomhus i en plastpåse. Tre olika diameterklasser sågades upp: liten (3 - 4 mm), mellan (10 - 16 mm) och grov (18 - 25 mm).

Låda 1 i båda försöken hade torvtjocklek på 8 cm. Vid 4 cm djup placerades två grenar av samtliga diameterklasser positionerade vertikalt mot startspalten, totalt 6 kvistar (figur 5.1).

Låda 2 i båda försöken hade en torvtjocklek på 16 cm. Vid 8 cm djup placerades två kvistar av samtliga diameterklasser positionerade vertikalt mot startspalten, totalt 6 kvistar.

I varje låda placerades 4 stycken termoelement typ K som kan mäta temperaturer mellan -200 och +1250°C (Duff & Towey 2010) lodrätt i förhållande till varandra. Ett placerades 1 cm från botten, en på samma nivå som kvistarna, en på ytan, och en i direktkontakt med barken på en kvist i diameterklass 1. Temperaturen loggades en gång i minuten.

Brandens progression kontrollerades och dokumenterades under försöket. Innan bränningarna togs ett prov från varje kvist som vägdes och placerades i torkskåp sex dygn för att kunna mäta fuktkvoten. Samtliga kvistar som placerades i lådorna för bränning vägdes och mättes.



Figur 5.1. Placering av kvistar i försök 2, tjocklek på torv 8 cm. Kvistarna positionerades med änden mot startspalten som på bilden. Ytterligare ett lager med torv lades på innan bränning.

Figure 5.1. Placing of the branches in trial 2 with a peat thickness of 8 cm. The branches are positioned with its end facing the start gap as shown in the photo. A further layer of peat was placed on top of the branches before burning.

3 RESULTAT

3.1 Förberedande försök

I det förberedande försöket kunde vi konstatera att materialet betedde sig på det sätt som önskades. Samtliga prover oberoende av fuktkvot (8%, 20% eller 50%) i torven tillät glödbranden att ta fart och röra sig enhetligt med en horisontell front i materialet vilket efterliknar det man kan observera i naturen. Tvärsnittet som kom till då grenarna kapades blev ingen onaturlig ingång för branden i pinnen.

3.2 Huvudförsök

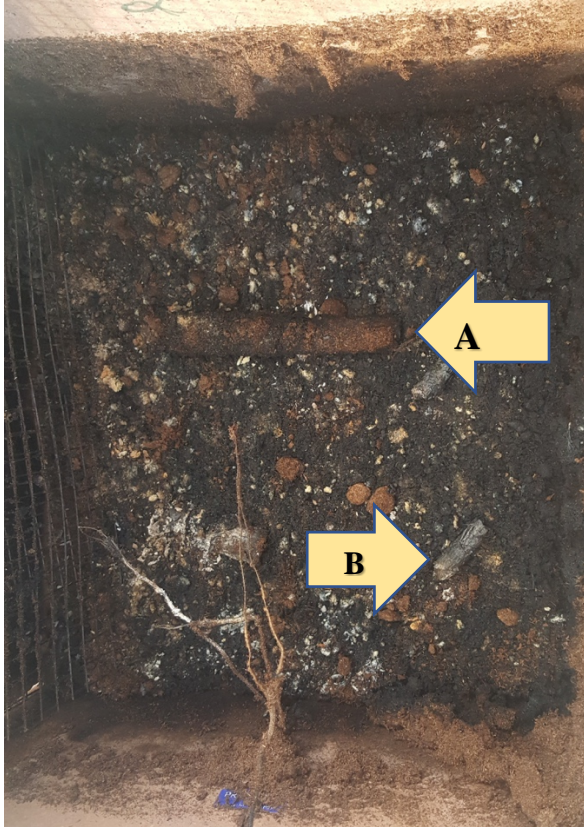
Startspalten med papper och tändvätska flammade ett fåtal minuter efter tändning. Då flammorna lagt sig syntes rök från torven vilket indikerade att glödbranden kom igång direkt efter att pappret brunnit färdigt.



Figur 6.1. Försök 1: 5,5 h efter start. Glödbrandsfronten har rört sig ca 15 cm på ytan. Utvecklingen har varit långsammare på kanterna. Torvdjupet är 16cm.

Figure 6.1. Trial 1 5,5h after start. The front of the smouldering fire has moved about 15 cm. The progress has been slower on the sides. Depth of peat 16cm.

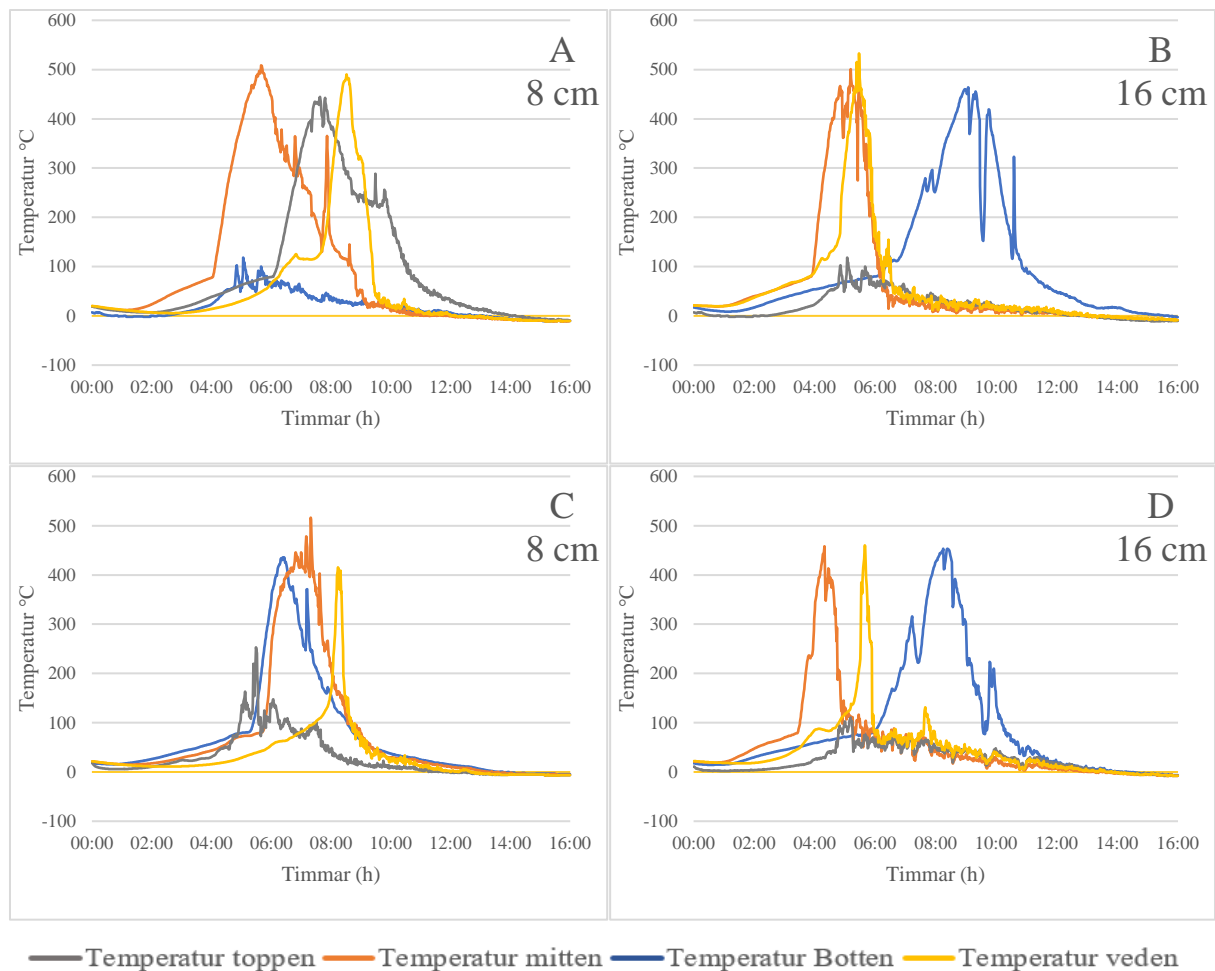
Glödbranden spred sig i materialet med en horisontell front som rörde sig med en snitthastighet av ca 3,5 cm/h, samma för båda försökstillfällena och de olika tjocklekarna på torven. Kanterna brann lite långsammare som framgår i figur 6.1.



Figur 6.2. Efter brand. Kvistar syns, delvis eller helt förkolnade. Veden i A är inte påverkad av förbränning. Veden i B har förkolats och delvis blivit aska. Enbart några centimeter torv kvar i botten av lådan då den konsumerats och blivit kol och aska. Aska syns tydligt som vita fläckar i materialet. Trådarna i nedre delen av bilden är termoelement som nu hänger fritt i luften.

Figure 6.2. Results after fire. The branches are visible, partly or totally char. The wood in A is not affected of the combustion process. The wood in B has become ash and char. There are only a few centimeters of peat in the bottom of the box as it has been consumed and turned into ash and char. The ash is clearly visible as white spots in the material. The threads in the bottom of the picture is thermocouples that now is in free air.

När veden blev kol var vissa stycken fortfarande intakta (Figur 6.2 A) medan andra hade föraskats och brunnit av på mitten (figur 6.2 B). Den ved som helt eller delvis brunnit av har gjort det med en utgångspunkt från långsidan av grenen.



Figur 6.3. Temperatur på mätpunkter vid toppen, mitten, botten och veden av materialet för (A) försök 1 tjocklek på torven 8 cm, (B) försök 1 tjocklek på torven 16 cm, (C) försök 2 tjocklek på torven 8 cm och (D) försök 2 tjocklek på torven 16 cm.

Figure 6.3. Temperature for points of measurement at top, middle, bottom and wood of the material (A) trial 1 peat thickness 8 cm, (B) trial 1 peat thickness 16 cm, (C) trial 2 peat thickness 8 cm and (D) trial 2 peat thickness 16 cm.

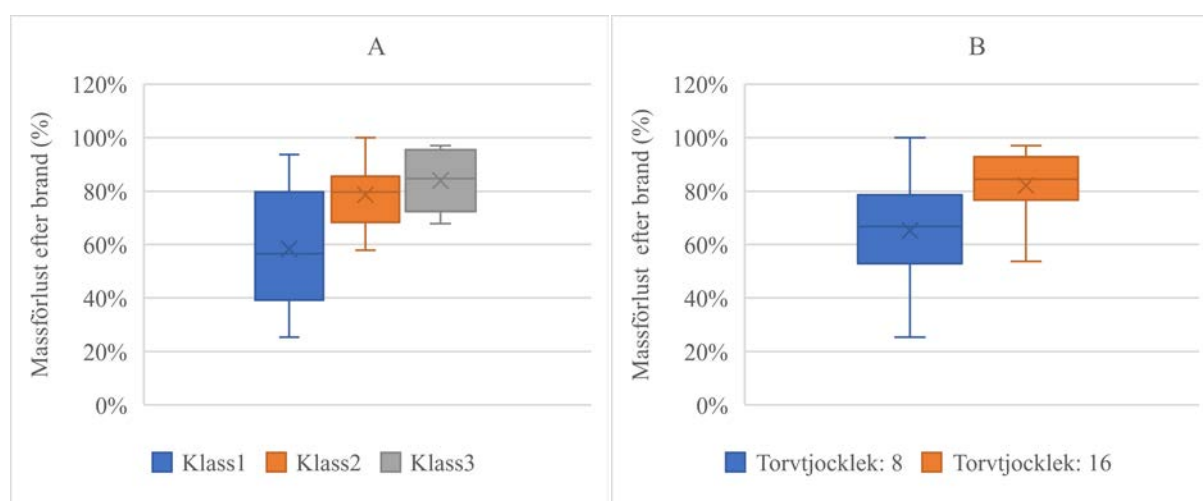
Samtliga temperaturgrafer (figur 6.3) visade ett likartat mönster efter tändning där uppvärmningen till en början gick långsamt upp till en temperatur av ca 100°C. Därefter var det en mycket snabbare temperaturstegring upp till en maxtemperatur på ca 450-500°C varefter en relativt jämn sänkning försiggick allteftersom glödfrenten rörde sig vidare i materialet. Maxtemperaturen skiljde sig inte radikalt mellan de olika lägena i materialet förutom på ytan där temperaturen sällan överstiger 100°C. Tid noll är då bränningarna påbörjades och i samtliga fall tar det ca en timma tills det att värmen först når mätpunkterna.

Tabell 6.1 Tid över 250°C (minuter) vid samtliga mätpunkter, försök och torvdjup.

Table 6.1 Time over 250 °C (minutes) for all points of measurement, trial and peat depth.

Försöksled	Tid över 250 grader (min)			
	Toppen	Mitten	Botten	Veden
Försök 1, 8 cm torv	0	171	127	71
Försök 1, 16 cm torv	0	92	151	59
Försök 2, 8 cm torv	1	111	91	19
Försök 2, 16 cm torv	0	48	108	22

Temperaturerna varade olika länge vid olika punkter i materialet (Figur 6.3 samt Tabell 6.1). Vid veden är tiden över 250°C kortare än både mitten och botten av materialet.

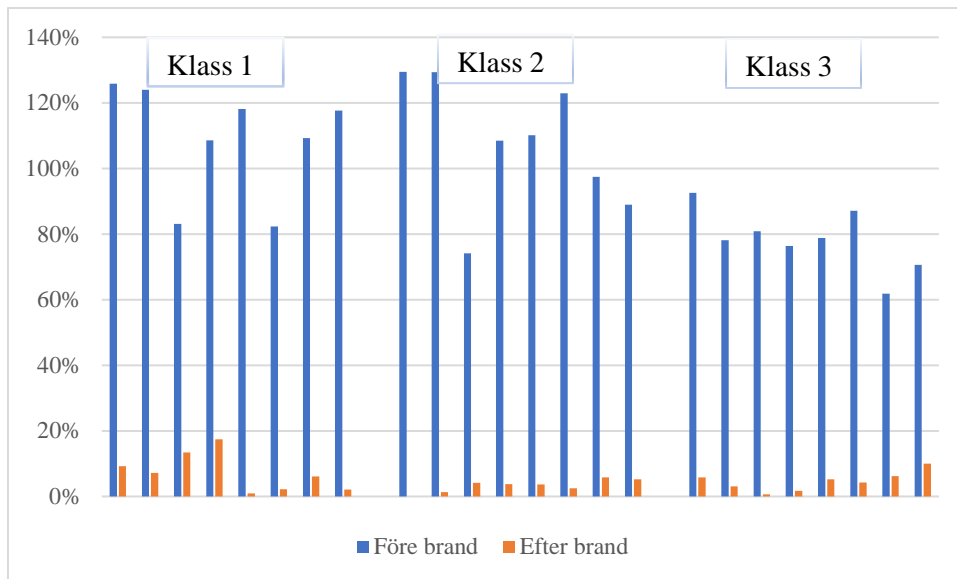


Figur 6.4. (A) Vedens massförlust efter brand vid olika diameterklasser. Klass 1: 18 - 25 mm, klass 2: 10 - 16 mm och klass 3: 3 - 4 mm. (B) Vedens förlorade torrsvikt efter brand vid olika tjocklek på torven.

Figure 6.5 (A) Lost dry mass of wood after fire at different diameter classes. Class 1: 18-25 mm, class 2: 10-16 mm and class 3: 3-4 mm. (B) Lost dry mass of wood at different peat depths.

Alla utplacerade vedstycken återfanns efter brand utom en rot i första försöket som hade förskrats helt av glödbranden. I samtliga fall minskade vedprovets torrsvikt (figur 6.4 A). De mindre diameterklasserna liten (klass 3: 3 - 4 mm) och mellan (klass 2: 10 - 16 mm) varierade mellan 60- och 100% i förlust av torrsvikt och veden var helt eller delvis förkolnad. Ved av den största diameterklassen (Klass 1: 18 - 25 mm) klarade sig bäst; förlusten av torrsvikten låg strax över 20%, enbart några enstaka hade förkolnat och då enbart ungefär till hälften och tvärsnitt mot startpunkten var inte konsumerat.

Massförlusten i veden skiljde sig vid olika tjocklek på torv (figur 6.4 B). Vid tjockare torvlager har det skett en större massförlust i vedprovet än vid ett tunnare lager torv.



Figur 6.5. Vedens fuktkvot före och efter brand. Klass 1: 18 - 25 mm, klass 2: 10 - 16 mm och klass 3: 3 - 4 mm.
 Figure 6.6. Moisture content before and after fire. Class 1: 18 - 25 mm, class 2: 10 - 16 mm and class 3: 3 - 4 mm.

Fuktkvoten reducerades kraftigt under branden (figur 6.5). Innan brand varierade fuktkvoten något mellan de olika vedproverna men efter ligger de flesta mellan 1 – 10%. Två av vedproverna i diameterklass 1 (18-25 mm) utmärker sig dock särskilt med en fuktkvot över 15%.

4 DISKUSSION

4.1 Materialutvärdering

Det förberedande försöket var ett bra tillfälle att observera hur materialet betedde sig och om det var lämpligt för våra vidare tester.

Kommersiell torv valdes på grund av att det är ett relativt homogent material. I markens humustäcke finns vedrester och mineraljord som påverkar förbränning på olika sätt vilket vi ville eliminera. Med torven blev det lättare att uppnå en homogen fuktkvot, och vi behövde inte särskilja våra egna vedprover från naturligt förekommande vedrester i humusen. Användandet av kommersiell torv eliminerade ett flertal felkällor vilket underlättade tolkningen av resultatet då vi hade större kontroll över materialets förutsättningar. Vi kunde på detta vis fokusera på förbränning av ved vid lika egenskaper i torven.

Vid fuktkvoten i torven som användes (55%) var det lätt för glödbranden att få fäste. I skogsmark kan man vänta sig att marken har en varierande fuktkvot i det översta markskiktet då dess sammansättning är heterogen. Om det varit en kort period av torka kan fuktkvoten vara uppåt 200% i humuslagret även om mossan ovanför är tillräckligt torr för att brinna. Då sker ingen glödbrand i humusen alls (A. Granström, muntl.). Faktorer som spelar in gällande markens fuktighet förutom klimatet kan vara hur tätt träden står, hur markens vattendrainerande förmåga ser ut på platsen eller hur tjockt det översta markskiktet är. Men fukt i marken varierar främst beroende på solexponering och hur lång torkperiod det har varit (Hallsby 2007). Efter ett par veckor utan regn kan fuktkvoten ligga ner mot 50% i delar av humuslagret (A. Granström, muntl.)

Som rötter i undersökningen användes grenar vilket bidrar till en viss osäkerhet. De liknar varandra i avseenden som barktjocklek och anatomisk uppbyggnad, men då de trots allt är olika delar av trädet kan skillnader förekomma.

4.2 Tolkning av resultatet

Efter tändningen i huvudförsöket kunde glödbrandens progression i ytskiktet följas visuellt. Förflyttningen av glödbranden har skett med varierande hastighet beroende på nivå i torven (figur 6.3). Trots att vi använde oss av en startspalt i försöket så kom branden i toppen av materialet igång snabbare än i botten. Graferna som visar termoelementet placerat i torvens mitt har i tre av de fyra fallen nått sin topp innan temperaturen ökat märkbart på botten (figur 6.3). Detta beror troligtvis på att det underliggande materialet torkat saktare och glödfronten till en följd av detta ligger steget efter längre ner i materialet. Det finns även mer tillgång på syre nära ytan vilket gör att förbränningen går fortare där och vi får en front som är lutad framåt, vilket är naturligt. I temperaturgraferna (figur 6.3) är spridningen av glödbranden tydlig där maxtemperaturen i underliggande material är tidsmässigt förskjutet. Temperaturen på toppen översteg sällan 100°C, antagligen till följd av avkyllning från luften.

Anledningen till den långsamma temperaturstegringen på samtliga nivåer i materialet (figur 6.3) i början är vattenhalten i materialet. Upp till 100°C finns ännu vatten i torven som förångas och håller temperaturen nere. När vattnet är borta försvinner denna fördröjande

effekt och temperaturen stiger snabbare än tidigare vilket leder till den tvära krök som syns i graferna vid 100°C.

Temperaturökningen vid veden ser ut att komma senare än temperaturökningen i resten av materialet på samma djup. Orsaken till denna fördröjning är att termoelementets mätpunkt vid veden inte ligger helt i lod med övriga utan lite längre fram från starten av branden. De övriga termoelementens mätpunkter ligger lodrätt i materialet och mäter på så vis i samma tidpunkt i progressionen. Man kan även se en plåtå i tre av de fyra graferna för temperatur vid vedstyckena (figur 6.3). Det är när temperaturen är runt hundra grader som den stannar ca en timma på samma ställe innan den snabba stegringen sker. En förklaring till detta kan vara att det tar längre tid för veden att torka än för torven. Vidare är den maximala temperaturen densamma vid ved och i torven på alla nivåer men tiden över 250°C är märkbart kortare vid veden (tabell 6.1). Då vedens fuktkvot var högre än torvens vid starten av försöket drar vi slutsatsen att det vi ser beror på en större mängd vatten att förånga innan temperaturökning kan ske på denna punkt. Veden skyddas alltså av mängden vatten den innehåller och det minskar då risken både för kambienekros innanför barken samt förbränning av veden. Detta ger stöd till Ryan & Frandsen (1991) resonemang om hur massflöden av vatten till rötterna under brand kan vara ett av trädens försvarsmekanismer.

Den höga fuktkvoten på vissa av de tjockare vedstyckena (figur 6.5) tyder på att dessa skiljer sig från resten av proverna. En viss variation är rimlig då veden efter branden låg kvar utomhus i ca 5h och då påverkades av luftfuktigheten, men antagligen inte över 10%. Troligt är att dessa två vedstycken under branden inte torkat till samma nivå som de övriga utan fortfarande haft en viss mängd vatten kvar efter att glödbranden passerat.

Kanteffekten som observerades vid glödfrontens progression beror troligtvis på utetemperaturens nedkylande effekt (figur 6.2). När glödbranden var igång kunde man känna att det var mycket varmt utanpå lådan just där fronten pågick men när den gått förbi kylde lådan ner relativt snabbt. Materialet i lådorna som användes i försöket kan leda värme. Detta kan ha gjort att temperaturen i kantzoner gått upp en del.

4.3 Diameterns inverkan på motståndskraft mot brand

Olika diameter på rot visade sig vara en faktor till att veden inte konsumeras av glöd (figur 6.4). I detta försök har inte större ved än 25mm använts. Men man borde kunna vänta sig att större rötter än så kan klara sig bättre då de största som använts här klarar sig bra (figur 6.5). En större rot kan hålla mer vatten och det tar längre tid för värmen att avdunsta vattnet. Detta är en faktor till att de större rötterna klarar sig bättre från konsumtion. De allra minsta och smalaste rötterna har blivit helt eller delvis förkolnade. Däremot tar ett träd upp näring med de allra finaste rötterna så att eventuell konsumtion av dessa borde vara en stor påverkan på trädet i sig trots att stora rötter inte konsumerats.

Fuktkvoten har reducerats kraftigt under branden på grund av värmen från glöden (figur 6.7). Om rötterna inte har konsumerats av glöden så har de ändå blivit påverkade. På en levande rot kan man tänka sig att vattnet är i ständig rörelse och att detta motverkar att roten torkar ut lika kraftigt (Ryan & Frandsen 1991).

Träd påverkas av glödbrand vare sig rötter brinner av eller ej. Värmen som glöden genererar och reduceringen av fukt påverkar rötterna drastiskt och leder till kambiedöd och i vissa fall till avbränning. Trots att vi inte observerat vidare konsumering av ännu grövre rötter i detta försök så kan man vänta sig att även dessa kan konsumeras av glödbranden till viss del i andra typer av förhållanden, och definitivt få kambieskador.

Olika trädarter har olika sätt och förmåga att skydda sig mot värmeöverföring eller konsumtion av brand. Dickinson (2004) studerade hur barkens tjocklek på stammen skyddar mot värmeöverföring och det visade sig att det finns ett samband mellan barktjocklek och andel döda celler efter brand. Stammen påverkas dock bara av flammande eld och den varar bara ett par minuter. För rötter i humus kan värmeexponeringen enligt våra resultat röra sig om mer än en timme och då hinner värmen tränga igenom även tjock bark (Michaletz, S., & Johnson, E. 2007). Dessutom är rötternas bark generellt tunn.

4.4 Humuslagret tjocklek

Torvens tjocklek visade sig ha en liten påverkan (figur 6.8). Dock kan man inte se någon markant skillnad i temperaturen mellan de olika tjocklekarna på torven (figur 6.3). I ett förhållandevis litet försök som detta är det svårt att avgöra om det verkligen är en faktor.

Lutningen på glödfronten beror på att avdunstningen går snabbare vid ytan. Vidare kan detta vara en faktor till att konsumtionen ser annorlunda ut för de två olika tjocklekarna på torv. Ett djupare lager med torv borde medföra att glödfronten inte kan ta sig fram lika snabbt som i ett tunt lager som torkar fortare. Detta kan då resultera i att förbränningen blir kvar längre på ett och samma ställe samt att veden påverkas mer av värmen.

4.5 Slutsatser

Försöket vi har gjort är relativt litet men en bra början på ett i stort sett utforskat område. Trots storleken på försöket har vi kunnat urskilja vissa trender som bekräftat de hypoteser vi formulerat i början av arbetet. Grövre rötter har ett bättre skydd mot avbränning genom sin storlek men kambiezonen är med stor säkerhet ändå död efter direktkontakt med glödbrand. Grova rötter har en viktig funktion att stabilisera trädet, medan finrötter står för näringsupptaget. Båda funktionerna påverkas starkt vid glödbrand och enda möjligheten för trädet att skydda sig mot detta är att också ha rötter djupare ner i mineraljorden. Träd vars rötter växer djupare ner i mineraljorden bör därför klara glödbrand i marken bättre.

5 REFERENSER

- Aston, A.R., Gill, A.M. (1987). Coupled soil moisture, heat and vapour transfers under simulated fire conditions. *Australian Journal of Soil Research* 14(1) 55 - 66.
Doi.org/10.1071/SR9760055
- Dickinson, M. B. & Johnson, E. A. (2004). Temperature-dependent rate models of vascular cambium cell mortality. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 546559.
- Duff, M. Towey, J. (2010) Two ways to measure temperature using thermocouples feature simplicity, accuracy, and flexibility. *Analog Dialogue* 44-10.
- Hallsby, G., & LRF skogsägarna. (2007). *Nya tiders skog : Skogsskötsel för ökad tillväxt*. Stockholm: LRF Skogsägarna.
- Huang X, Rein G (2015) Computational study of critical moisture content and depth of burn in peat fires. *International Journal of Wildland Fire* 24, 798-808. Doi: 10.1071/WF14178
- Michaletz, S., & Johnson, E. (2007). How forest fires kill trees: A review of the fundamental biophysical processes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(6), 500-515.
- Peterson, D. L and K. C. Ryan. 1986, Modeling postfire conifer mortality for long-range planning. *Environmental Management* 10(6):797-808.
- Prat-Guitart, N., Rein, G., Hadden, R.M., Belcher, C.M. & Yearsley, J.M. (2016). Propagation probability and spread rates of self-sustained smouldering fires under controlled moisture content and bulk density conditions. *International Journal of Wildland Fire* 25(4) 456-465. Doi.org/10.1071/WF15103
- Rein G (2013) Smouldering Fires and natural fuels. In 'Fire phenomena in the Earth system. An interdisciplinary approach to fire science'. (Ed CM Belcher) pp. 15-34. (Wiley-Blackwell: London)
- Ryan, K. C. 1982. Evaluating potential tree mortality from prescribed burning. Pages 167-179 in D. M. Baumgartner (ed.). *Proceedings of the Symposium on Site Preparation and Fuels Management on Steep Terrain*. Washington State University, Pullman, Washington. 179 p.
- Ryan, K., & Frandsen, W. (1991). Basal Injury From Smoldering Fires in Mature *Pinus ponderosa* Laws. *International Journal of Wildland Fire*, 1(2), 107-118.
- Steward, F.R., Peter, S., & Richon, J.B., (1989). A method for predicting the depth of lethal heat penetration into mineral soils exposed to fires of various intensities
- Steward, F., Peter, S., & Richon, J. (1990). A method for predicting the depth of lethal heat penetration into mineral soils exposed to fires of various intensities. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(7), 919-926.
- Van Wagner C.E. (1972). Duff consumption by fire in eastern pine stands. *Canadian Journal of Forest Research* 2, 34-39. doi:10.1139/X72-006

5.1 Personlig kommunikation

Granström, Anders, Universitetslektor vid institutionen för skogens ekologi och skötsel; enheten för brandekologi, SLU, 2018-04-13.