



Tallens skaderespons på naturvårdsbränning, punktbränning och katning

En studie med fokus på graden av kådimpregnering i veden

Emma Munters

Självständigt kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Skogsvetarprogrammet
Kandidatarbeten i Skogsvetenskap • 2024:11
Umeå 2024



Tallens skaderespos på naturvårdsbränning, punktbränning och katning – en studie med fokus på graden av kådimpregnering i veden

The Scots Pine's Damage Response to Conservation Burning, Point Burning and Debarking – A Study Focusing on the Degree of Resin Impregnation in the Wood

Emma Munters

Handledare: Anders Granström SLU, Intuitionen för skogens ekologi och skötsel

Bitr. handledare: Mattias Edman, Mittuniversitetet, Intuitionen för naturvetenskap, design och hållbar utveckling

Examinator: Marcus Klaus, SLU, Intuitionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i skogsbruksvetenskap

Kurskod: EX1015

Program/utbildning: Skogsvetarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2024

Omslagsbild: Emma Munters

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Serietitel: Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Delnummer i serien: 2024:11

Nyckelord: kådimpregnering, naturvårdsbränning, punktbränning, katning, skaderespons, tall, *Pinus sylvestris*,

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakultet: Skogsfakulteten

Institution: Skogens ekologi och skötsel

Sammanfattning

I Sverige finns det idag ett stort behov av att restaurera skog för att främja den biologiska mångfalden. Det råder brist på skadad och död ved av olika kvalitéer, vilket många organismer är beroende av. Därför används naturvårdsbränning, punktbränning och katning för att öka förekomsten av olika vedkvalitéer. I den här studien undersöktes tallens (*Pinus sylvestris*) skaderespons på de här tre naturvårdsåtgärderna två år efter behandling. Primärt fokus har riktats mot kådimpregneringen av veden. Studiematerialet hämtades från två tallbestånd i Västerbotten. Talltrissor sågades ut med jämna intervall längs skadorna och diskarna undersöktes okulärt på labb. Resultatet visade att naturvårdsbränningen gav den mest utspridda kådimpregneringen över stammen i höjdlid. Punktbränningen resulterade i den radiellt djupaste kådimpregneringen och var centrerad vid stammens bas. Katningen inducerade en grund kådimpregnering lokaliserad vid skadan. Skillnaderna mellan de brännbaserade åtgärderna förklarades av bränningarnas olika karaktär och exponeringstid på trädet. Dessutom hittades en stark korrelation mellan utsträckningen av dött floem/kambium och utsträckningen av kådimpregnering. I samtliga behandlingar observerades traumatiska kådkanaler i årsringarna som bildats efter skadan. Även en hydraulisk defekt observerades på ett av de naturvårdsbrända träden. Slutsatsen dras att de tre naturvårdsåtgärdernas effekter skiljer sig åt, men att alla bidrar till en heterogen bildning av skadad och död ved av olika karaktär som kan främja biologisk mångfald.

Nyckelord: kådimpregnering, naturvårdsbränning, punktbränning, katning, tall, *Pinus sylvestris*

Abstract

Today, there is a need of restoring forests to support the biodiversity in Sweden. There is a deficit of wounded and dead wood of different qualities, which many organisms depend on. Therefore, prescribed burning, point burning and debarking is used to increase the occurrence of dead wood of different qualities. In this study, the injury response in pine (*Pinus sylvestris*) was examined after the three nature conservation measures, two years after treatment. The primary focus has been on the resin impregnation in the wood. The study material was collected from two sites in Västerbotten. Discs were cut out at regular intervals from the pine stems, along the whole injured section, and studied in the lab. The result showed that the prescribed burning gave the most scattered pattern of resin impregnation along the height of the stem. The point burning resulted in the deepest resin impregnation and was located only at the base of the stem. The debarking led to a shallow resin impregnation, centered around the mechanical wound. The difference in impregnation depth between the two fire-based methods is explained by the difference in duration of the heating, as the point burning provided heat to the stem for nearly 1.5 hours. A strong correlation between the extent of dead phloem and cambium and extent of resin-impregnated wood was also found. For all treatments, increased number of resin ducts (likely induced by the trauma) were noticed in the annual rings that was grown after the injury. Also, a likely hydraulic disturbance (i.e. a dry area within the sapwood) was found in one of the prescribed-burned trees. The conclusion is drawn that the effect of the three nature conservation methods differs, but all support the creation of dead and wounded wood of different qualities, which should support biodiversity.

Keywords: resin impregnation, prescribed burning, point burning, debarking, injury response, pine, *Pinus sylvestris*

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	7
Figurförteckning.....	8
Förkortningar och förklaringar av termer	10
1. Inledning	11
1.1 Problemformulering.....	11
1.1.1 Det brinner för lite – brandens ekologiska betydelse	11
1.1.2 Naturvårdsbränning, punktbränning och katning.....	12
1.1.3 Syfte och frågeställningar	14
1.2 Teori.....	14
1.2.1 Bildandet av brandljud	14
1.2.2 Tallens kådrespons vid brand och mekanisk skada.....	15
1.2.3 Påverkan på tallens hydrauliska förmåga vid brand.....	16
1.2.4 Påverkan på trädets vitalitet vid brand och mekanisk skada.....	17
2. Metoder	18
2.1 Studieobjekt och insamling av material	18
2.1.1 Observation av naturvårdsåtgärdernas utförande.....	18
2.1.2 Insamling av material.....	19
2.2 Behandling och analys av data	21
3. Resultat	22
3.1 Värmeexponering och brinntid vid punktbränning	22
3.1.1 Sotning och kådutgjutning på stammen	22
3.1.2 Krondöd	25
3.2 Kådrespons.....	26
3.2.1 Kådimpregneringens djup och höjd	26
3.2.2 Kådimpregneringens korrelation mot dött floem.....	29
3.2.3 Kådkanaler.....	31
3.3 Andra observationer.....	32
3.3.1 Hydrauliska störningar	32
3.3.2 Barktjocklek	33
4. Diskussion	34
4.1 Diskussion.....	34

4.1.1 Kådimpregnering	34
4.1.2 Allmän påverkan	36
4.1.3 Sammanfattning.....	37
4.2 Metoddiskussion	37
Referenser.....	38
Tack	41

Tabellförteckning

Tabell 1. Observationer av stående naturvårdsbrända träd i Långträsk.....	24
Tabell 2. Yttre beskrivning av de undersökta träden.....	25

Figurförteckning

Figur 1. Bilder på punktbränningsbrasan.....	18
Figur 2. Bilder från naturvårdsbränning och katning.....	19
Figur 3. Karta över studieplatserna.....	19
Figur 4. Exempelbilder på trädfällning vid datainsamling.....	20
Figur 5. Temperaturkurva för punktbränningsbrasa.....	22
Figur 6. Illustration av den yttre påverkan på träden vid naturvårdsbränning.....	23
Figur 7. Andel sotad omkrets.....	24
Figur 8. Kådimpregnerade talltrissor.....	26
Figur 9. Kådimpregneringens medeldjup.....	27
Figur 10. Genomlysning av talltrissor.....	28
Figur 11. Total utsträckning av kådimpregnering och dött floem/kambium.....	29
Figur 12. Närbilder av sårskador och kådimpregnering.....	30
Figur 13. Exempelbild av kådimpregneringens utbredning.....	30
Figur 14. Bilder av kådkanaler.....	31
Figur 15. Bilder av den hydrauliska defekten hos ett av de naturvårdsbrända träden.....	32
Figur 16. Graf över medelvärdet av de fällda trädens barktjocklek.....	33

Förkortningar och förklaringar av termer

FSC	Forest Stewardship Council
Katning	Att mekaniskt avlägsna barken från en trädstam med exempelvis yxa, motorsåg eller skördare.
Kådimpregnerad ved	Kådindränkt ved. Karakteriseras av en mörkare ton och oljig lyster. Vattenavvisande och rötbeständig.
Punktbränning	Att bränna enskilt träd med en standardiserad brasa vid stammens bas.
SI	Ståndortsindex

1. Inledning

1.1 Problemformulering

Den biologiska mångfalden minskar i de svenska skogarna. Skogsstyrelsen (2022) slår fast att miljökvalitetsmålet *Levande skogar* inte uppnås för 2023. Även FN understryker att världens skogar genomgår en artförlust och betonar vikten av att restaurera och bevara ekologiskt värdefulla ekosystem (FN, 2022). En bakomliggande orsak till den negativa utvecklingen är den homogena livsmiljö som det industrialiserade skogsbruket skapar. Det råder brist på död, skadad och bränd ved, substrat som många arter är fundamentalt beroende av (Skogsstyrelsen, 2022). Substratets kvalitet är lika viktig som dess kvantitet då olika organismer är knutna till olika slags död och skadad ved (Larsson Ekström et al., 2023). Ett fenomen som historiskt skapat heterogenitet i skogens vedstruktur är brand (Granström, 2001). Idag görs därför en mängd olika naturvårdsåtgärder för att efterlikna den forna störningsregimen. Några sådana exempel är naturvårdsbränning, punktbränning och katning. Den här studien avser att undersöka tallens (*Pinus sylvestris*) fysiologiska skaderespons på dessa tre naturvårdsåtgärder. Primärt fokus kommer att riktas på kådimpregnering av veden. Studien utfördes i samarbete med Sveaskog och initierades genom EU-projektet SUPERB. Även Holmen har bistått med material till studien.

1.1.1 Det brinner för lite – brandens ekologiska betydelse

Historiskt sett har brand varit en viktig präglade faktor i det svenska skogsekosystemet. Skogsbrand är en process som förändrar såväl den kemiska som den fysiska miljön i skogslandskapet (Granström, 2001). Den långa brandhistoriken innebär att många arter som naturligt finns i Sverige är beroende av brand för sin överlevnad (Granström, 2001). Under förindustriell tid brann omkring 1 % av skogsarealen årligen (Ramberg, 2017). Idag brinner omkring 0,006%. Skiftet i skogens branddynamik inträdde under industrialiseringen på 1800-talet när människan aktivt började att släcka skogsbränder i syfte att skydda produktionsskog (Zackrisson, 1977).

Minskningen av bränder har lett till en reducering av lämpliga habitat för specialiserade organismer. Många av de brandberoende arterna är idag rödlistade arter (Wikars, 2004). I Sverige är det främst olika arter av svampar och insekter som drar fördel av brand. Minst 100 arter beräknas vara direkt beroende av störningen medan många fler gynnas. De främsta fördelarna av brand är kopplade till branddöda träd och den markpåverkan branden skapar (Wikars, 2004).

De brandpåverkade träden kan möjligen ha större sannolikhet att skapa de biologiskt viktiga så kallade keloträden. Keloträd definieras enligt Niemelä et al. (2002) som döda, senvuxna, stående, långlivade och avbarkade tallar. I flera studier argumenteras det för att den brandinducerade kådimpregneringen i veden kan vara fördelaktig för kelovedsbildning eftersom kådindränkt ved är motståndskraftig mot röta (Niemelä et al., 2002; Kuuluvainen et al., 2017; Santaniello et al., 2017). Det saknas dock studier som bevisar tesen. En försvårande faktor är att bildandet av ett keloträd tar 500-1000 år från plantstadiet (Kuuluvainen et al. 2017). Ett vanligt förekommande argument för skogsbrandens positiva inverkan på kelovedsbildning är att dagens keloträd är så gamla att de mest troligt genomlevt en eller flera bränder (Niemelä et al., 2002). När Venugopal et al. (2014) undersökte sammansättningen av fenoler i veden hos keloträd kunde de se en skillnad i den kemiska sammansättningen mellan brandpåverkade tallar och icke brandpåverkade tallar. Dataunderlaget var emellertid för litet för att dra några slutsatser om huruvida brand påverkar bildandet av keloved. Keloved har ett stort ekologiskt värde eftersom många specialiserade arter är strikt beroende av substratet (Larsson Ekström et al., 2023). Mot bakgrund av att keloträd kraftigt minskar i landskapet föreslår Santaniello (2017) därför att aktiva naturvårdsåtgärder såsom naturvårdsbränning vidtas för att säkra kontinuerlig nybildning av substratet.

1.1.2 Naturvårdsbränning, punktbränning och katning

Naturvårdsbränning

Idag används huvudsakligen naturvårdsbränning som metod för att skapa habitat för brandberoende organismer (Nilsson, 2005). Vid naturvårdsbränning bränns ett på förhand bestämt område med önskad intensitet. Med en högre intensitet, följer en större rot-, stam- och kronpåverkan, vilket kan försämra trädens vitalitet. Naturvårdsbränning är ett omfattande företag som kräver mycket planering, resurser och specialistkompetens. Eftersom spridningsrisken är stor ställs höga krav på utföraren.

Naturvårdsbränning är idag ett krav för certifiering. FSC kräver att motsvarande 5% av den avverkade arealen ska brännas i naturvårdande syfte. Idag är omkring 65% av den årligen brända arealen i Sverige orsakad av naturvårdsbränning (Ramberg, 2017). Det har dock riktats kritik mot utförandet och resultatet av naturvårdsbränningar. Granström (2001) framhäver att stort fokus riktas på kvantitet bränd areal, snarare än kvalitet av åtgärden. Dessutom bränns arealer ofta slumpmässigt vilket missgynnar brandberoende arter som kräver rumslig

kontinuitet (Granström, 2001). Eftersom olika arter gynnas av olika typer av bränder föreslår Wikars (2004) liksom Granström (2001) större målmedvetenhet när bränningsåtgärder planeras.

Naturvårdsbränningar kan även stå i konflikt med rennäringsen. Branden eliminerar markslaven vilket minskar tillgången till vinterbete inom en osäker framtid (Cogos et al., 2017). Viktoria Tegenfeldt (muntligt, 2024), naturvårdsspecialist på Sveaskog, berättar att flera platser som föreslagits för naturvårdsbränning stoppats i samråd med rennäringsen på grund av rik markslavs förekomst. Även områden med höga naturvärden kan behöva undantas från naturvårdsbränning i syfte att skydda sällsynta arter och värdefulla strukturer (Nilsson, 2005).

Punktbränning

Punktbränning är en relativt ny naturvårdsåtgärd vars syfte är att skapa brandljud på tallar förklarar Tegenfeldt (muntligt, 2024). Hos Sveaskog utförs åtgärden vintertid genom att bränna en standardiserad brasa vid tallens bas. Åtgärden är relativt billig, brandsäker och precis. Bränningsmetoden utförs idag på försöksnivå i Sveaskogs Ekopark Skatan, Västerbotten samt i flera andra av Sveaskogs regioner. En annan aktör som nyligen börjat med punktbränningar är Skogsstyrelsen i Bollnäs (Paulsson, muntligt, 2024). Ingen av de intervjuade aktörerna har någon långvarig erfarenhet eller kunskap om åtgärdens effekter.

Katning

Katning är en naturvårdsåtgärd som utförs av flera skogliga aktörer med syfte att efterlikna brandljud på tallar. Tegenfeldt (muntligt, 2024) berättar att katning kan genomföras manuellt med yxa, motorsåg eller dylikt för att avlägsna barken från trädets rot längs med en given längd och bredd. Skördare kan också användas för att kata trädets en längre sträcka. Det görs i regel i samband med avverkning.

Att kata tall är också en gammal metod för att framställa kådrik ved, så kallad fetved (Wetterberg, 2018). Vid katningen avlägsnas barken in till kambiet från stammen, med undantag för en intakt barkremsa som lämnas för trädets överlevnad. Fetveden har använts till såväl rötbeständigt konstruktionsmaterial som för tjärbränning. Tallar har även skadats mekaniskt i syfte att tappa kåda och terpentin, främst i länder utanför Sverige (Zaluma, 2022; Barnett, 2019).

1.1.3 Syfte och frågeställningar

Syftet med studien är att undersöka tallens skaderespons på naturvårdsbränning, katning och punktbränning två år efter brand. Den tvååriga tidshorisonten gavs av de punktbrända och katade träd som fanns att tillgå i fält behandlades för två år sedan. Särskilt fokus kommer att ägnas kådimpregneringen i veden vid såret. Det saknas idag studier på kådimpregneringens rumsliga utbredning i tallved efter brand och skada. Mot bakgrund av det stora behovet av död och skadad ved av varierande kvalitet, är det viktigt att förstå hur naturvårdsåtgärderna påverkar trädet. Den kunskapen kan sedan ligga till grund för att skapa effektiva och målinriktade naturvårdsåtgärder.

Frågeställningar:

- Hur ser den inre och den yttre skaderesponsen ut i tall två år efter katning, punktbränning och naturvårdsbränning?
- Hur ser kådutbredningen ut i veden i axiell och radiell ledd?

1.2 Teori

1.2.1 Bildandet av brandljud

Tallen är evolutionärt anpassad för att överleva lågintensiva markbränder (He et al., 2012). Den högt ansatta kronan minskar risken för kronbrand och den tjocka barken vid stammens bas, hos framför allt äldre träd, isolerar mot letala temperaturer. Barken är stammens yttersta barriär och det lager som skyddar de inre skikten, floemet och kambiet. Dess värmeisolerande förmåga bestäms av dess tjocklek, fukthalt och densitet (Bär et al., 2019). Barkens tjocklek har noterats som linjärt ökande med stamdiametern hos barrträd (Mantgem och Schwarts, 2002). Mantgem och Schwarts (2002) visar i sin studie att barrträd med 1 cm tjock bark kan motstå 400 °C under ungefär 10 min innan nekros inträder i kambiet innanför barken.

Kambiet är den tunna cellvävnad som ligger mellan floemet och splintveden (Bär et al., 2019). Den nybildar celler och det är således där trädets tillväxt sker (. Floemet är i sin tur den vävnad som ligger precis under barken. Den är i regel millimetertjock och transporterar socker mellan krona och rötter. Om temperaturen överstiger 60 °C inträder nekros i de här två levande vävnaderna och ett brandljud bildas (De Micco et al., 2013). Eftersom dödlighet och temperatur följer ett exponentiellt samband kan även lägre gradtal vara dödligt vid längre exponeringstid (Bär et al., 2019).

Trädet har flera strategier för att läka brandljudet (De Micco et al., 2013). Bland annat stimuleras bildning av omslutande kallusvävnad vid såret. De Micco et al. (2013) påträffade en högre proportion av sommarved intill brandljudet och fler

trakeider än långt ifrån skadan. Vidare fann De Micco et al. (2013) att både kallusceller och trakeidceller fylldes med tilltäppande material för att skydda trädet mot angrepp. Det bildas en form av kemisk barriärzon som avgränsar den friska veden mot såret (Schwiengruber, 2007). Samma sårhelingsprocess har noterats för mekaniskt skadad tall, där floem och kambium avlägsnats och en del av tillväxtzonen skadats permanent (Zaluma et al, 2022; Hillis, 1987).

1.2.2 Tallens kådrespons vid brand och mekanisk skada

Konstitutiva kådkanaler

En grundläggande skaderespons hos barrträd är utsöndring av kåda (Krokene et al., 2008). I splintveden utbreder sig ett nätverk av kådkanaler i axiell och radiell riktning som fungerar som konstitutivt försvar. Kådkanalerna är intercellulära håligheter som omgärdas av kådbildande epitelceller (Krokene et al., 2008). Kådan är en hydrofobisk, trögflytande och genomskinligt gulaktig substans. Exsudatet består ungefär till hälften av flyktiga monoterpener som avdunstar vid torkning och till andra hälften av diterpensyror som stelnar till en hård yta när kådan torkar (Keeling och Bohlmann, 2006). Den hårda barriären förseglar veden och utgör mekanisk barriär mot angrepp. Kådan har även vissa toxiska egenskaper som stöter bort angripare (Krokene et al., 2008). När ett träd värmeskadats av brand eller skadas mekaniskt förstörs kådkanalerna och kåda utgöts på sårytan. Omgivande epitelceller utövar ett tryck på kådkanalen och underlättar således utflödet (Rissanen et al., 2019). Trycket i kådkanalerna kan variera på såväl timskala som dygnskala. Påverkande faktorer är bland annat temperatur och markvattenpotential (Rissanen et al., 2019).

Flera studier visar också att katning av tall leder till en förhöjd kådhalt i veden efter mekanisk skada (Gustafsson et al., 2003; Gref et al., 2000; Oven och Torelli, 1999). Gustafsson et al. (2003) konstaterar en signifikant ökning av kådsyror och pinosylviner i splintveden efter katning. Där noterar de också en minskning av lösligt socker och lipider och föreslår att den beror på att kådproduktionen dränerar cellerna på lagrad energi då området inte längre försörjs av levande floem (Gustafsson et al. 2003). Förekomsten av kåda var ojämnt fördelad över stammen och som störst mitt emot den lämnade barstrimman. En reduktion av kådsyror mitt emot barkbryggan noterades över tid, dock var minskningen inte statistiskt signifikant. Gustafsson et al. (2003) föreslår att reduktionen kan bero på att kådan efterhand polymeriseras och bryts ned.

Vid katning har splintveden visat sig gå mot ett kemiskt tillstånd som liknar kärnvedens (Gref et al., 2000; Harju et al., 2008). Kärnveden innehåller höga halter pinosylvin och pinosylvinmonometyleter samt kådsyror. Splintved innehåller normalt förhållandevis låga halter av dessa ämnen. Vid mekanisk skada har Gref et al. (2000) och Harju et al. (2008) kunnat konstatera att både kådhalten och halten av pinosylviner ökar i splintveden och överstiger halten i kärnved (Gref et al., 2000). Den ändrade kemiska sammansättningen gör veden mer rötbeständig.

Kärnveden är den mest motståndskraftiga följt av kådindränkt splintved. Opåverkad splintved har i sin tur den lägsta röttåligheten (Gref et al., 2000).

Traumatiska kådkanaler

Efter en störning, så som brand eller katning, kan traumatiska kådkanaler bildas i den tillväxande splintveden hos barrträd (Krokene et al., 2008). Det är en del av ett sekundärt, inducerat försvar och kan utgöra en betydande andel av trädets kådkanaler. Bildandet av traumatiska kådkanalerna kan dessutom börja relativt snabbt, omkring fyra veckor efter skada hos gran (Krokene et al., 2008). De axiella kådkanalerna ökade både för douglasgran och kaskadlärk efter brand enligt en studie av Arbellay et al. (2014 b). Speciellt stor var ökningen ett till två år efter behandlingen. Responserna var dock artspecifika och skiljde sig i storlek och utbredning mellan träarterna. Vidare noterar Rodríguez-García (2018) att kådrelaterade strukturer i terpentintall, *Pinus pinaster*, ökade efter att trädet utsattes för lågintensiv brand och kådtappning jämfört med endast kådtappning. De understryker dock att endast bränning inte bidrog till fler kådkanaler eller mer kådproduktion och föreslår därför fler studier på ämnet. Även Arbellay et al. (2014 a) betonar att kunskapsläget för traumatiska kådkanaler efter brand är bristfälligt gällande barrträd.

1.2.3 Påverkan på tallens hydrauliska förmåga vid brand

Ibland skadas även splintveden av brandens värme (Bär et al., 2019). Splintveden ligger innanför floemet och är den vävnad som transporterar vatten och salter mellan rötterna och kronan. Den lagrar även energi i form av stärkelse (Hillis, et al., 1987). Bär et al. (2018) noterar i en studie att den hydrauliska säkerheten i splintveden hos tall försvagades och risken för embolism blev större efter värmeexponering. Embolism är formation av luftbubblor i trädets kärl och orsakar en nedsättning i den vattenledande förmågan. I studien av Bär et al. (2018) försämrades inte den hydrauliska konduktiviteten av värmexponering, trots att cellväggarna deformerades. Även Partelli-Feltrin et al. (2020) visar att den hydrauliska konduktiviteten hos gultall-plantor inte försämrades nämnvärt efter brandexponering. Däremot ökade risken för embolism 21 månader efter brand. En review-studie av Bär et al. (2019) lyfter dock att försämrad hydraulisk konduktivitet efter brand noterats i andra studier.

Orsakerna till de hydrauliska störningarna är ännu inte helt vetenskapligt belagda. En teori är att värmen stör vattnenpotentialen i vedens vattenpelare vilket kan orsaka embolism (Bär et al., 2019). En annan teori är att brandens heta luftpelare orsakar en lokal atmosfärisk förändring och ett ångtrycksunderskott. Då hinner stomatan inte reglera sig i tid och trädet transpirerar stora mängder vatten, vilket skapar oreda i trädets vattenbalans (Bär et al., 2019). Detta kan i sin tur orsaka embolism och kavitation som gör cellerna odugliga för vattentransport.

1.2.4 Påverkan på trädets vitalitet vid brand och mekanisk skada

Trädets vitalitet kan påverkas negativt vid brand. Barr, knoppar och grenar kan dö av hög temperatur vilket orsakar reducerad fotosyntetisk förmåga (Bär et al., 2019). Van Wagner (1973) konstaterar att kronskadornas omfattning till stor del beror av eldens intensitet. Även ytliga rötter kan skadas eller dö av värme, något som påverkar trädets vatten- och näringsupptag negativt. Sammantaget leder detta till en minskad tillväxt och större mottaglighet för sjukdomar och angripare. I vissa fall dör träden en långsam, fördröjd död (Bär et al., 2019).

Tallens kondition verkar påverkas måttligt av mekanisk skada (Cukor et al., 2021; Zaluma et al., 2022). Cukor et al. (2021) fann ingen skillnad i diametertillväxt och volym mellan lätt skadade och ej skadade träd. Däremot var det skillnad i diametertillväxt och volym mellan orörda och mycket skadade träd. Zaluma et al. (2022) visar att systematisk kådtappning som innebär mekanisk skada på stammen har liten påverkan på tallens vitalitet långsiktigt. Vissa av de kådtappade stammarna var dock missfärgade av svampinfektioner. Studien visade också att tallen svarade på den mekaniska skadan med att öka årsringsbredden i de ej skadade områdena (Zaluma et al., 2019).

2. Metoder

2.1 Studieobjekt och insamling av material

2.1.1 Observation av naturvårdsåtgärdernas utförande

Information om punktbränningsens utförande samlades in genom att provabränna en av de industriellt tillverkade brasorna (fig. 1). Jag loggade temperaturen vid barkytan med ett termoelement, typ K, som fästes ovanpå barken 10 cm ovan mark. Brasans vikt och brinntid noterades också. Genom att slå in spikar i nivå med barkytan på olika höjder av trädet kunde barkreduktionen avläsas efter bränning med standardiserad brasa.



Figur 1. Bilder på punktbränningsbrasan. Till vänster är brasan i sitt ursprungliga tillstånd, i mitten är den nyligen antänd och till höger är den i slutet av sin brinntid. Foto: Anders Granström (t.v.) Emma Munters (t.h.).

För att uppskatta naturvårdsbränningsens intensitet samlade jag in information från sex tallar i det naturvårdsbrända beståndet (fig. 2). De tallar som valdes var till olika grad påverkade av branden och representerade således hela skadespektrat. Parametrar som noterades var trädhöjd, barktjocklek vid brösthöjd, diameter vid brösthöjd, högsta och lägsta sotningshöjd, omfattning av insektsangrepp, kronlängd, barrdödgräns samt skadornas utbredning på stammen. För att skapa en bild av hur katningen utförts frågade jag naturvårdsspecialisten Viktoria Tegenfeldt på Sveaskog.



Figur 2. Bilder från naturvårdsbränning och katning. Bilden till vänster illustrerar bränningen i Långträsk, inom en avverkad del av beståndet. Där var det generellt högre intensitet än i den icke avverkade del av beståndet, där provträden togs. Bilden till höger visar katning på Sveaskogs mark. Observera de två punktbränderna i bakgrunden. Foto: Anders Granström (t.v.) och Viktoria Tegenfeldt (t.h.).

2.1.2 Insamling av material

Material till studien samlades in från två lokaler i Västerbotten (fig. 3). Platsen för de naturvårdsbrända tallarna var belägen vid Långträsk ($64^{\circ}31'09.7''\text{N}$ $19^{\circ}42'09.8''\text{E}$). Marken ägs av Holmen och naturvårdsbrändes av 28 juni 2022. Området domineras av 100-årig tall och klassas som SI 23. Marken kategoriseras som frisk blåbärstyp på sandig, moig morän. Beståndet gallrades år 2000. Före bränningen hade delar huggits till en fröträdställning (fig. 2) men provtagningsområdet var inte rört efter gallringen. Studiematerial från katade och punktbrända tallar inhämtades från Sveaskogs Ekopark Skatan utanför Åmsele ($64^{\circ}31'09.5''\text{N}$ $19^{\circ}25'37.9''\text{E}$). Tallarna katades med yxa, respektive punktbrändes 27 april 2022. Beståndet domineras av 80-årig tall och klassas som SI 18. Markvegetationen består av lingonris med fläckvis lav på morän. Området gödslades 1974 och låggallrades 1999.



Figur 3. Karta över studieplatserna. Ekopark Skatan och Långträsk ligger ungefär 100 km nordväst om Umeå, Västerbotten.

Två tallar från respektive behandling höggs ned med motorsåg 130 cm ovan mark (fig. 4). De fällda träden benämndes 1 NV och 2 NV för naturvårdsbränningen, 1PB och 2 PB för punktbränningen samt 1 K och 2 K för katningen. Jag sågade träden i trissor med 20 cm intervall längs med hela det område som visade på yttre eller inre skador. Skadans utbredning varierade mellan behandlingarna vilket resulterade i olika många utsågade diskar per träd. Trissorna fotograferades i fält för att dokumentera den fuktiga splintvedens utbredning. Trissorna markerades även med den höjd de var tagna från samt i vilken riktning elden angripit trädet eller från det håll katningen skett. Materialet kompletterades med ytterligare ett nedsågat punktbränt träd, 3 PB, och ett nedsågat katat träd, 3 K, som huggs ned på prov innan studien började. Datat för dessa träd saknar därför vissa uppmätta parametrar som de andra systematiskt nedhuggna träden har.



Figur 4. Exempelbilder på trädfällning vid datainsamling. Träden fälldes med motorsåg vid omkring 130 cm höjd ovan mark och trissor sågades först ut i 20 cm intervall ned till trädbasen, och därefter i vissa fall flera meter upp längs stammen. Foto och illustration: Emma Munters.

De naturvårdsbrända träden valdes med intentionen att så långt som möjligt likna de punktbrända träden. Därför fokuserade studien på överlevande träd med ingen eller liten kronpåverkan, samt de med ett väl synligt brandljud vid basen av stammen. Eftersom brasan som användes för punktbränning var standardiserad var påverkan på träden likartad och ett särskilt urval inte nödvändigt att göra. Alla träd valdes för att få ungefär samma trädstorlek. De flesta katade träden i området var relativt små och därför provtogs de med störst diameter, i syfte att likna de naturvårdsbrända och punktbrända objekten i största möjliga mån.

2.2 Behandling och analys av data

Talltrissorna slipades släta med slipmaskin. Med en skalpell putsade jag ytan ytterligare vid intressanta områden. Jag undersökte trissorna okulärt och fotograferade dem med mobilkamera. Variabler som noterades hos varje trissa var diameter, omkrets, barktjocklek, total utsträckning av dött floem, medeldjup för kådimpregnering, total omkrets kådimpregnering och andel sotad bark av omkretsen. Barktjockleken bestämdes som ett medelvärde av flera mätningar av den ej brandreducerade barken. Total sträcka dött floem erhöles genom att mäta den totala sträckan längsmed vedytan där floemet dött. För att fastställa var floemet var dött använde jag lupp vid behov med 6,4 – 40 x förstoring. Utsträckningen av kådimpregnering bedömdes som den sträcka längs med vedytan där det förekom kådimpregnering. Medelvärdet skattades genom en visuell bedömning av det vanligast förekommande kåddjupet med 1 mm precision. Veden klassades som kådimpregnerad vid tydligt mörkfärgad ton och oljig lyster. Total sotning mättes med måttband runt trissans omkrets. Jag gjorde även en kompletterande beskrivning av andra avvikelser för varje höjd och träd, så som avvikande fläckar. Det insamlade datat låg sedan till grund för att arbeta fram plottar i Excel och R-studio.

Eftersom kådimpregneringen var otydlig i vissa områden av såret gjorde jag även andra försök att framhäva kådan. Efter råd av Nasko Terziev, professor vid på institutionen för skogens biomaterial och teknologi på SLU, provade jag att färga in det skadade området med kaliumpermanganat 3%. Lösningen absorberas av den opåverkade splintveden som färgas in, till skillnad från den kådimpregnerade veden som framträder i en ljusare nyans. Metoden refuserades dock eftersom infärgningen blev otydlig. Dessutom var det svårt att applicera vätskan över stora ytor.

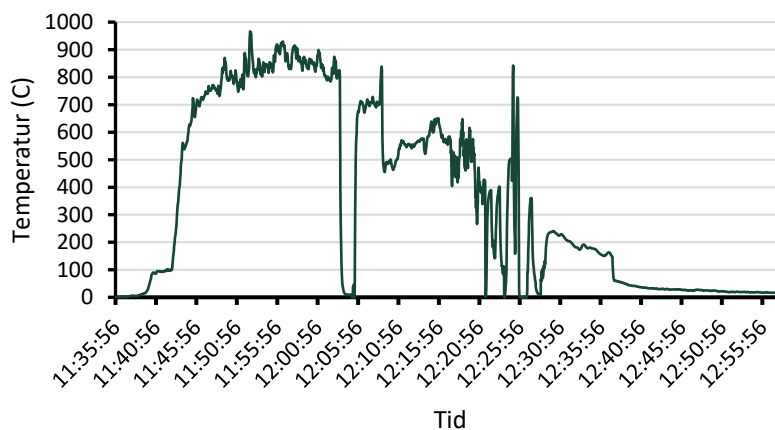
En ytterligare metod som testades för att framhäva kådimpregneringen var att genomlysa trissorna med lampa. Min handledare Anders Granström kom med förslaget att såga talltrissorna tunt och belysa dem bakifrån. Eftersom kådindränkt ved, till skillnad från torr splintved, leder ljus, kan de kådimpregnerade områdena identifieras som lysande sektioner. Metoden visade sig fungera väl för att illustrera kådimpregneringens utbredning. Jag fotade de belysta trissorna mot en mörk bakgrund. För att såga trissorna användes en bandsåg. Bandsågens bristande precision ledde till att tjockleken på trissorna varierade något, vilket skapade olika ljusgenomsläplighet. Därför är resultatet av genomlysningen något ojämnt.

3. Resultat

3.1 Värmeexponering och brinntid vid punktbränning

Den industriellt tillverkade brännkassetten som användes för att punktbränna tallarna i studien visade en brinntid på ungefär 82 minuter (fig. 5). Temperaturen mättes på barken 10 cm ovan mark. Initialt steg den snabbt upp till 800-900 °C och avtog sedan sakta. Den hastiga skiftningen i temperatur vid klockslaget 12.05 förklaras av att termometern lossnade från barkytan för att sedan sättas tillbaka. Exponeringstiden för kolande temperaturer (över 300 °C) beräknas till omkring 40 min, mellan klockan 11.42 och 12.24. Efter branden var barken totalt genombränd vid den punkt där termoelementet suttit. De spikar som slagits in visade på att barken innan reduktion varit omkring 15 mm tjock.

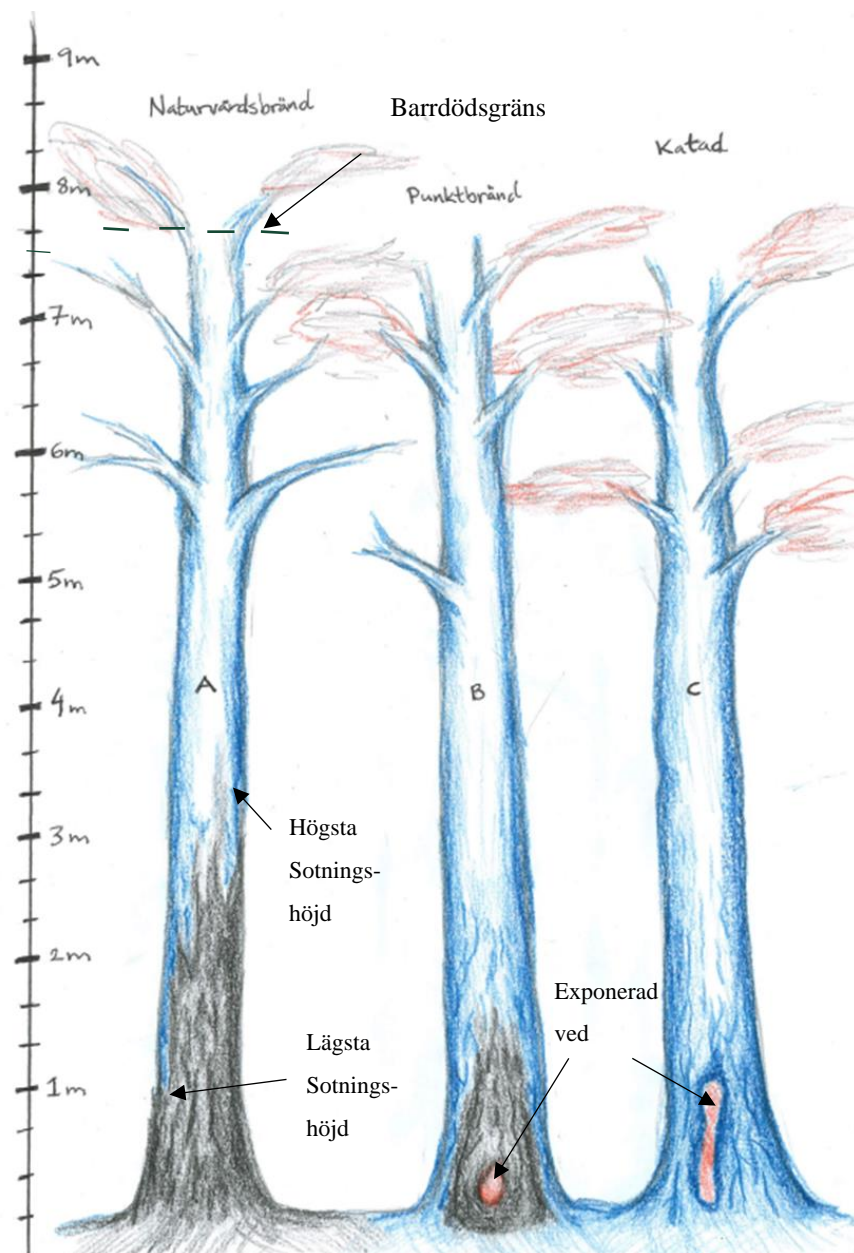
Medelvikten av fyra bärbrasor var 4,7 kg. Brasan är konstruerad för att brinna väl med ventilationshål och genomtänkt virkeskonstellation.



Figur 5. Temperaturkurva på barken 10 cm ovan mark på en tall som brändes med standardiserad brasa i Ekopark Skatan, Västerbotten 29 januari 2024.

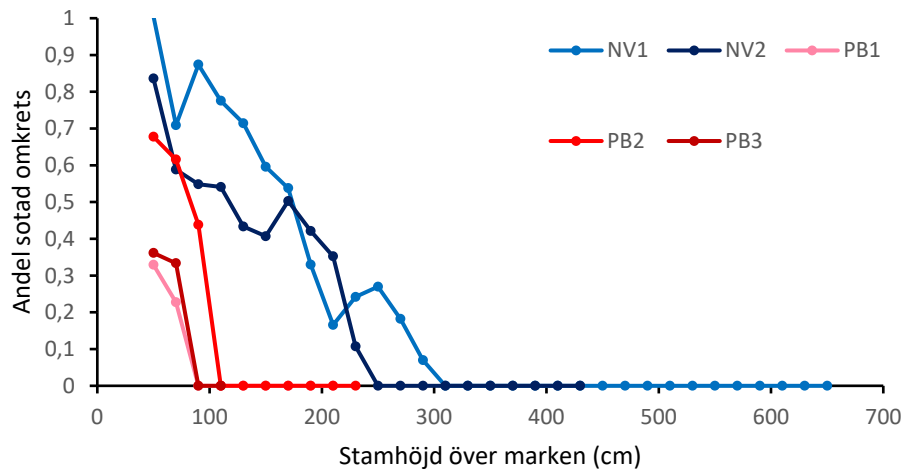
3.1.1 Sotning och kådutgjutning på stammen

Den yttre påverkan på träden skiljde sig åt mellan behandlingarna. Nedan följer en generell illustration av trädens visuella karaktär efter naturvårdsbränning, punktbränning respektive katning (fig. 6). Svart färg symboliserar sot. Notera högsta och lägsta sotningshöjd på de brända träden. Den röda färgen på stammen föreställer blottad ved. Lägga även märke till barrdödgränsen strax över 7 m för det naturvårdsbrända trädet.



Figur 6. Illustration av den yttre påverkan på träden vid naturvårdsbränning (A), punktbränning (B) respektive katning (C). Illustration: Emma Munters.

De naturvårdsbrända träden, NV, hade den mest omfattande sotningen i omkrets och höjd, (fig. 7). Högsta sotningshöjd för NV- träden var 2,8 respektive 2,4 m. Lägsta sotningshöjd var 0,5 m för samma träd. Högsta sotningshöjd för de okulärt observerade NV träden varierade mellan 1,55 och 4 m och lägsta sotningshöjd var mellan 0,35 och 1,2 m (tabell 1). Sotningen sträckte sig runt hela omkretsen hos många träd av de här träden. De punktbrända träden, PB, hade högsta sotningshöjd på 0,6 till 1 m (tabell 2). Sotning förekom endast på den brända sidan av PB träden, således var inte hela omkretsen sotad (fig. 7). Barken var genombränd till splintveden längs en 15 cm lång sträcka vid basen hos träd 1 PB. För träd 2 PB var barken mycket kraftigt reducerad men inte vid någon punkt genombränd.



Figur 7. Andel sotad omkrets som en funktion av stamhöjden över mark. I plotten visas de naturvårdsbrända tallarna (NV) och de punktbrända tallarna (PB).

Tabell 1. Observationer av stående naturvårdsbrända träd i Långträsk, sorterade efter stigande barrdödsgräns. Ingen data anges för de värden som inte kunde mätas i fält på grund av djup snö.

Träd	Höjd (m)	Dbh (cm)	Högsta sominghöjd (m)	Lägsta sominghöjd (m)	Högsta höjd kådutgjutning	Barrdödsgräns	Branddöd krona (m)	Levande krona (m)
1	13,3	22	2,75	Ingen data	2,70	8,5	3,10	4,80
2	15,4	20	2,94	0,35	2,00	10	2,00	5,20
3	17,6	23,2	4,00	1,2	3,45	13,2	4,80	4,40
4	16,1	19,7	1,55	0,6	-	13,5	4,50	2,60
5	17,9	23,5	4,00	Ingen data	2,20	15,8	4,70	2,10
6	15,9	19	2,63	Ingen data	1,30	15,9	4,90	0

För de två fällda NV-träden var kådutgjutningen på barken som högst 2,3 respektive 3,0 m upp på stammen (tabell 2). För de okulärt observerade NV - träden var höjd för högsta kådutgjutning mellan 1,30 och 3,45 m (tabell 1). Utsöndringen av kåda på barken varierade mellan de okulärt bedömda NV-träden. På vissa stammar noterades en ymnig utsöndring, medan andra var helt utan kådflöde. Insektsangrepp noterades på flera av de observerade NV- träden, men inte på något av de fällda NV-träden. Angreppen syntes i form av små borrhål genom barken. Vissa av träden hade tappat stora stycken av bark med tydliga insektsgångar. Även blånadsvamp noterades i borkkärnor från vissa träd.

Tabell 2. Yttre karaktärsbeskrivning av de provtagna träden. NV står för naturvårdsbränd, PB står för punktbränd, och K står för katad. Siffran anger vilket av träden som avses. Ingen data anges där värdet ej är uppmätt eller inte kunde mätas på grund av snödjupet.

Träd	Ålder vid bh	Höjd (m)	Dbh (cm)	Högsta höjd sot (m)	Lägsta höjd sot (m)	Högsta höjd katning (m)	Högsta höjd kådutgjutning (m)	höjd	Död krona (m)	Levande krona (m)	Medel toppskott 2019- 2023
1 NV	74	12,9	15,5	2,8	0,5	-	2,30		1,10	6,2	16,8
2 NV	96	11,3	19,5	2,4	0,5	-	3,00		0	6,0	5
1 PB	117	16,9	19,5	0,8	0	-	Ingen		0	6,7	8,2
2 PB	90	15,0	16,5	1,0	0	-	0,56		0	7,4	14,8
3 PB	133	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data		0	Ingen data	Ingen data
1 K	94	14,4	14,0	-	-	0,75	0,75		0	8,7	19
2 K	113	15,5	14,2	-	-	0,89	0,89		0	6,2	6,6
3 K	73	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data		0	Ingen data	Ingen data

Hos ett av de punktbrända träden (2PB) noterades kådutgjutning på barken till 56 cm höjd (tabell 2). Övriga PB-träd var utan yttre kådflöde. De katade träden, K, hade sår från basen upp till mellan 70 och 89 cm stamhöjd (tabell 2). Merparten av den avskavda barken var avlägsnad in till splintveden, men vid vissa partier, särskilt i kanterna påträffades levande floem och kambium. Bredden på katningen in till splintveden var mellan 4 och 11 cm. Kådutgjutning på vedytan observerades längs med hela den katade sträckan hos de undersökta träden (tabell 2).

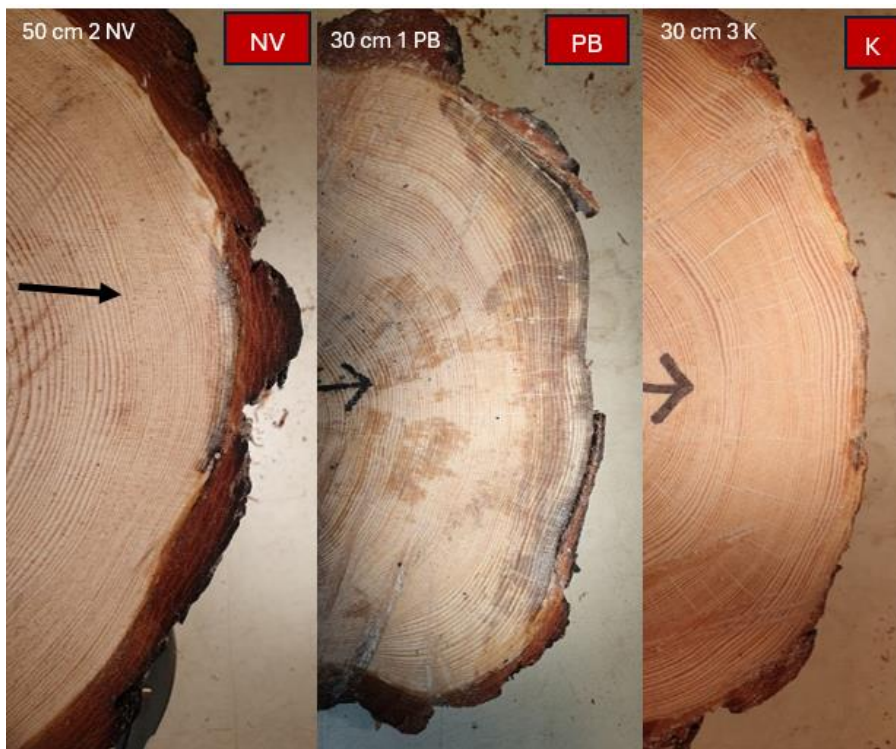
3.1.2 Krondöd

Viss krondöd förekom på nästan samtliga naturvårdsbrända träd men inte på något punktbränd eller katad träd (tabell 1 och 2). Andelen död krona varierade mellan 30% och 100% för de okulärt besiktigade NV träden (tabell 1). För de nedhuggna NV träden var kronan mycket litet påverkad jämfört med genomsnittet av alla NV träd på området.

3.2 Kådrespons

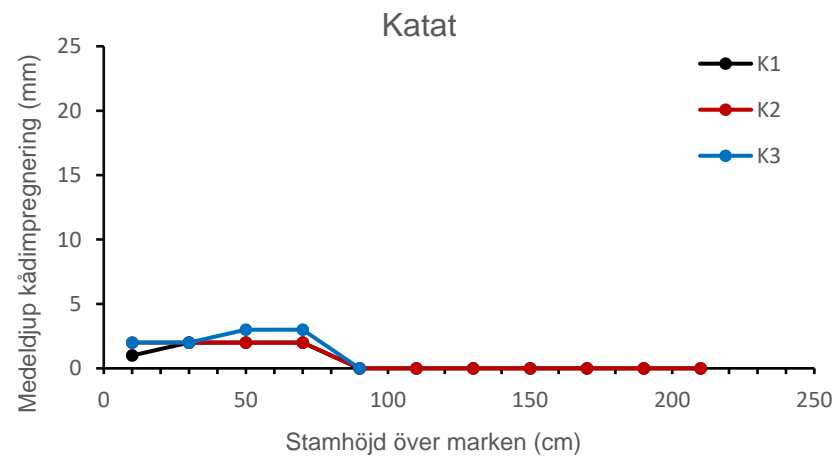
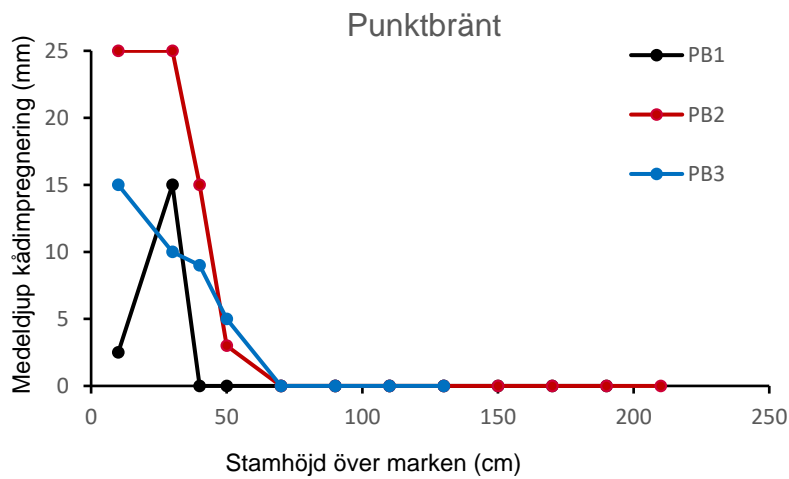
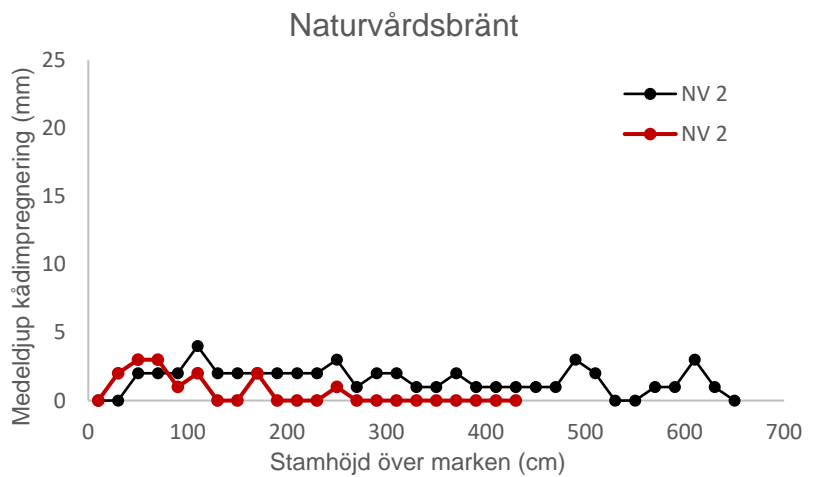
3.2.1 Kådimpregneringens djup och höjd

Resultatet visar att de naturvårdsbrända träden (NV) hade den mest axiellt utspridda kådimpregneringen av de tre behandlingarna. De punktbrända träden (PB) hade den djupaste kådimpregneringen i radiell ledd (fig 8). De katade tallarna (K) hade ett radiellt kåddjup jämförbart med de naturvårdsbrända. De katade trädens axiella kådutbredning var jämförbar med de punktbrända träden.



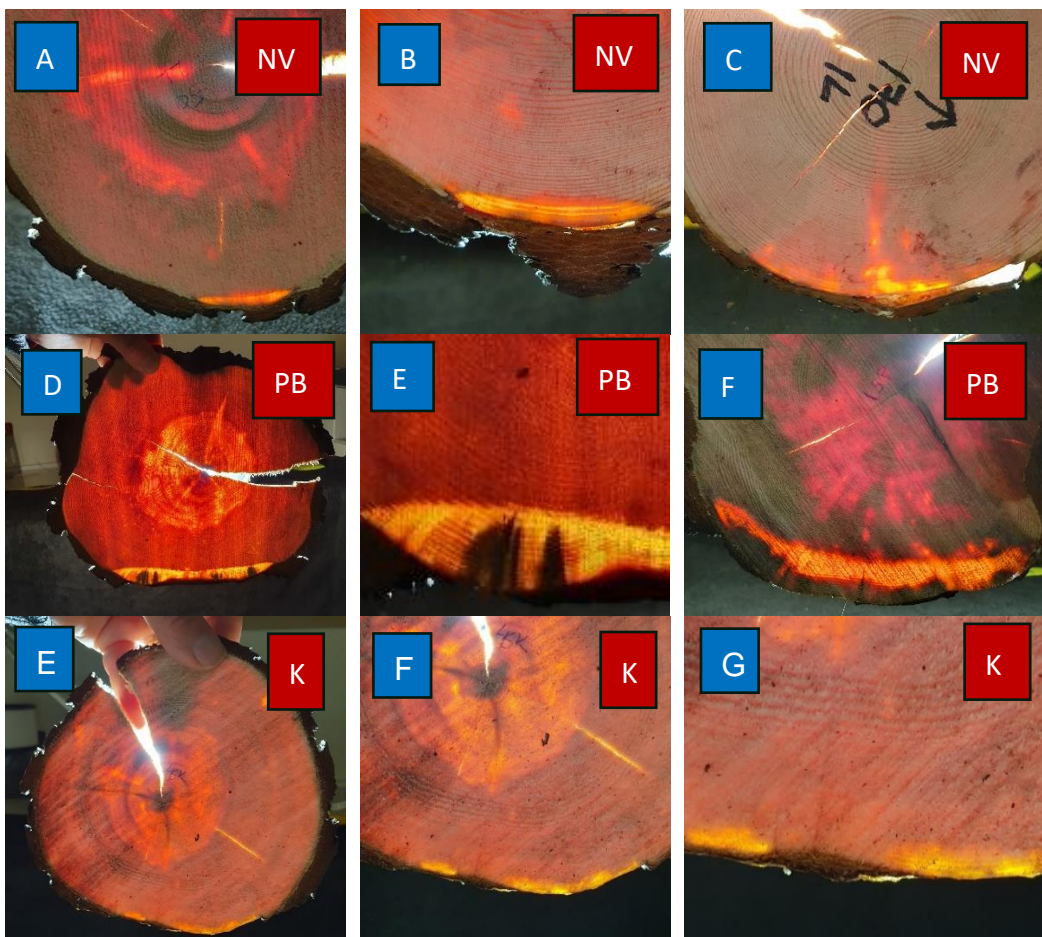
Figur 8. Kådimpregnerade talltrissor. Bilderna visar exempel från ett naturvårdsbränt (NV), ett punktbränt (PB) och ett katat (K) träd. De mörkare områdena är kådimpregnerade. Pilen pekar i riktningen mot brandsåret. Foton: Emma Munters.

För de två NV-träden noterades intermittent kådimpregnering vid vedytan mellan stamhöjderna 50 cm och 630 cm (1 NV), respektive 30 cm och 250 cm (2 NV) (fig. 9). Medeldjupet av kådimpregneringen rörde sig mellan 1 och 4 mm. För de punktbrända träden var kådimpregneringen centrerad till den nedersta delen av stammen vid ett höjdintervall om 10 till 70 cm. PB-träden hade den radiellt djupaste kådimpregneringen av de tre behandlingarna, som mest 15 till 25 mm in i veden. De katade träden hade en jämförelsevis grund kådimpregnering. Medeldjupet var mellan 1 och 3 mm och sträckte sig mellan 10 cm och 70 cm upp på stammen.



Figur 9. Kådimpregneringens medeldjup som en funktion av stammens höjd över marken för de naturvårdsbrända, punktbrända och katade träden.

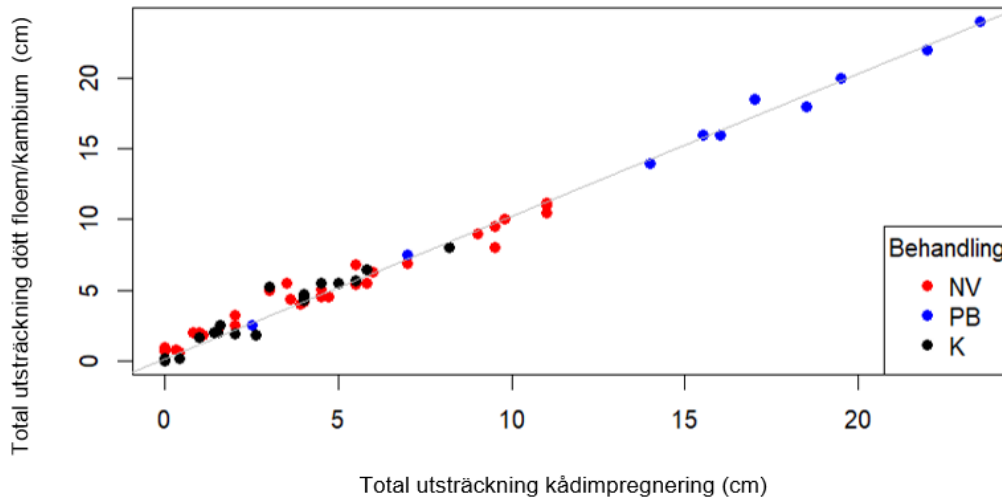
En illustration av kådimpregneringens djup ges av figuren nedan (fig. 10). Skadeområdet är riktat nedåt i bild och trissorna är belysta bakifrån. Det lysande orangea sektionerna är de områden som är kådimpregnerade. Även kärnan hos vissa trissor lyser på grund av att deras kemiska sammansättning skiljer sig från splintvedens. Bild A, B och C visar tre trissor från naturvårdsbrända träd (NV). Notera kådimpregneringens omfattande radiella utbredning längs ett stråk i bild C. Bild D, E och F är foton på punktbrända träd. Observera svampangreppet i den kådimpregnerade veden i bild D och i förstoring från samma trissa i bild E. Bild F visar ett träd som inte angripits av svamp. Lägg märke till att den yttersta delen av veden vid sårytan inte är kådimpregnerad. Foto E, F och G är bilder på en trissa från ett katat träd i succesiv förstoring. Observera även att veden inte är kådimpregnerad där en del av barken fortfarande sitter kvar, och floem och kambium alltså är osårat.

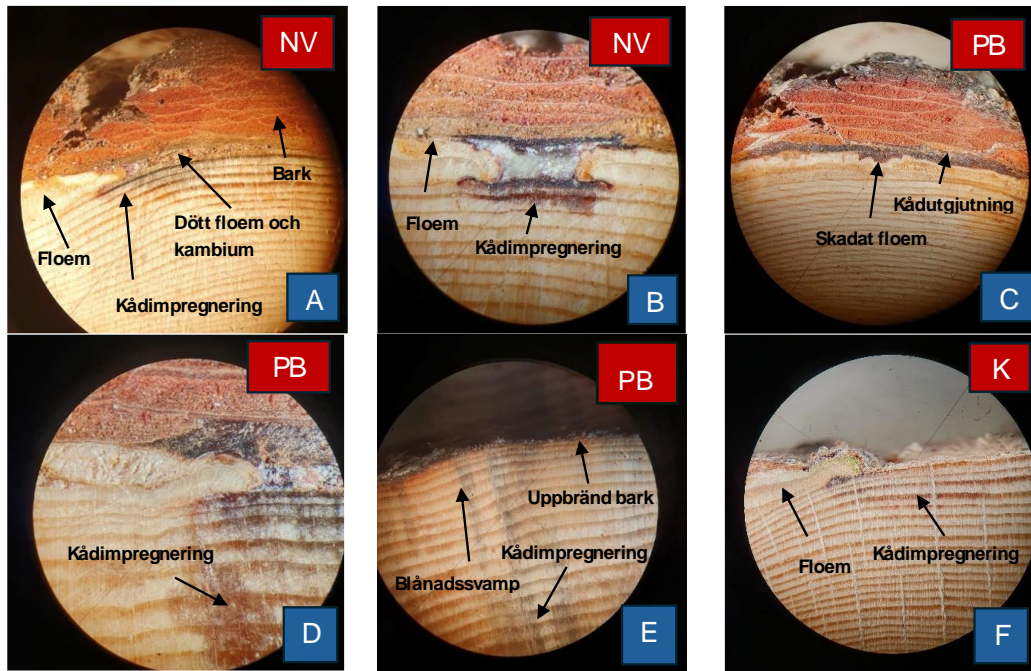


Figur 10. Genomlysning av talltrissor. Bilderna visar naturvårdsbränd (NV), punktbränd (PB) och katad (K). Trissorna är orienterade med sårskadan rakt nedåt i bild. De orangea, lysande partierna visar var kådimpregneringen är lokaliserad. Foton: Emma Munters.

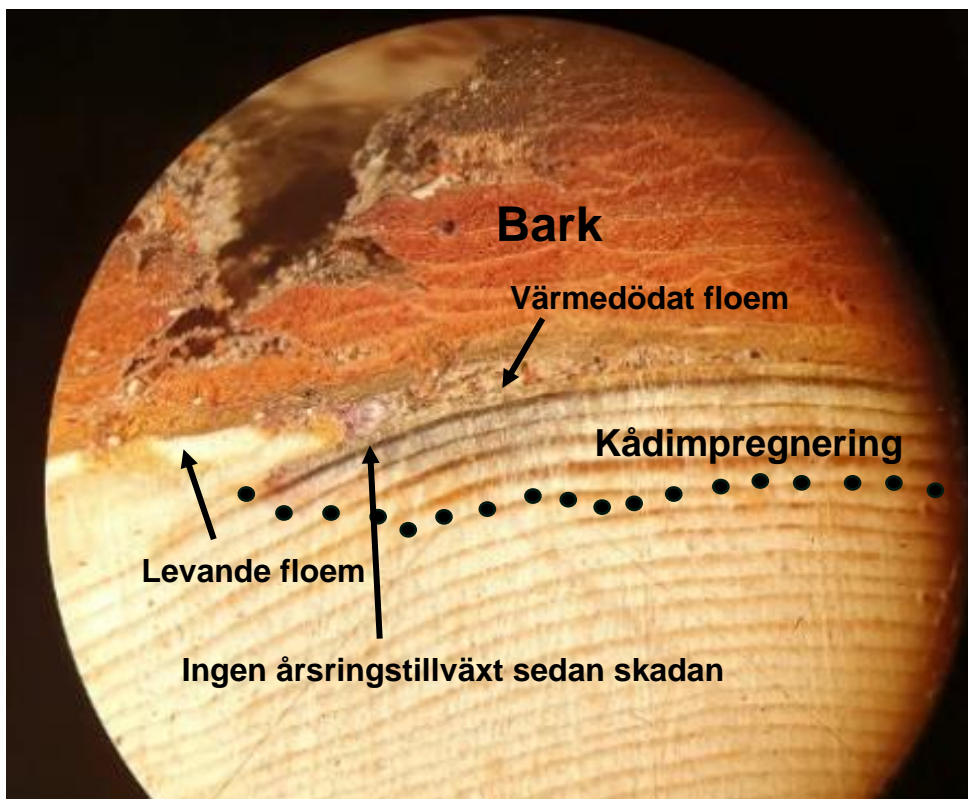
3.2.2 Kådimpregneringens korrelation mot dött floem

Den totala utsträckningen av dött floem och den totala utsträckningen av kådimpregnerad såryta korrelerade väl (fig. 11). Kambiet antas vara dött där floemet är dött eftersom det endast är några cellager tjockt. Grafen (fig.11) visar på att den längsta sträckan inkådning och floemdöd hos enskilda trissor förekom hos de punktbrända tallarna. De katade tallarna hade den kortaste utsträckningen total kådimpregnering och floemdöd.





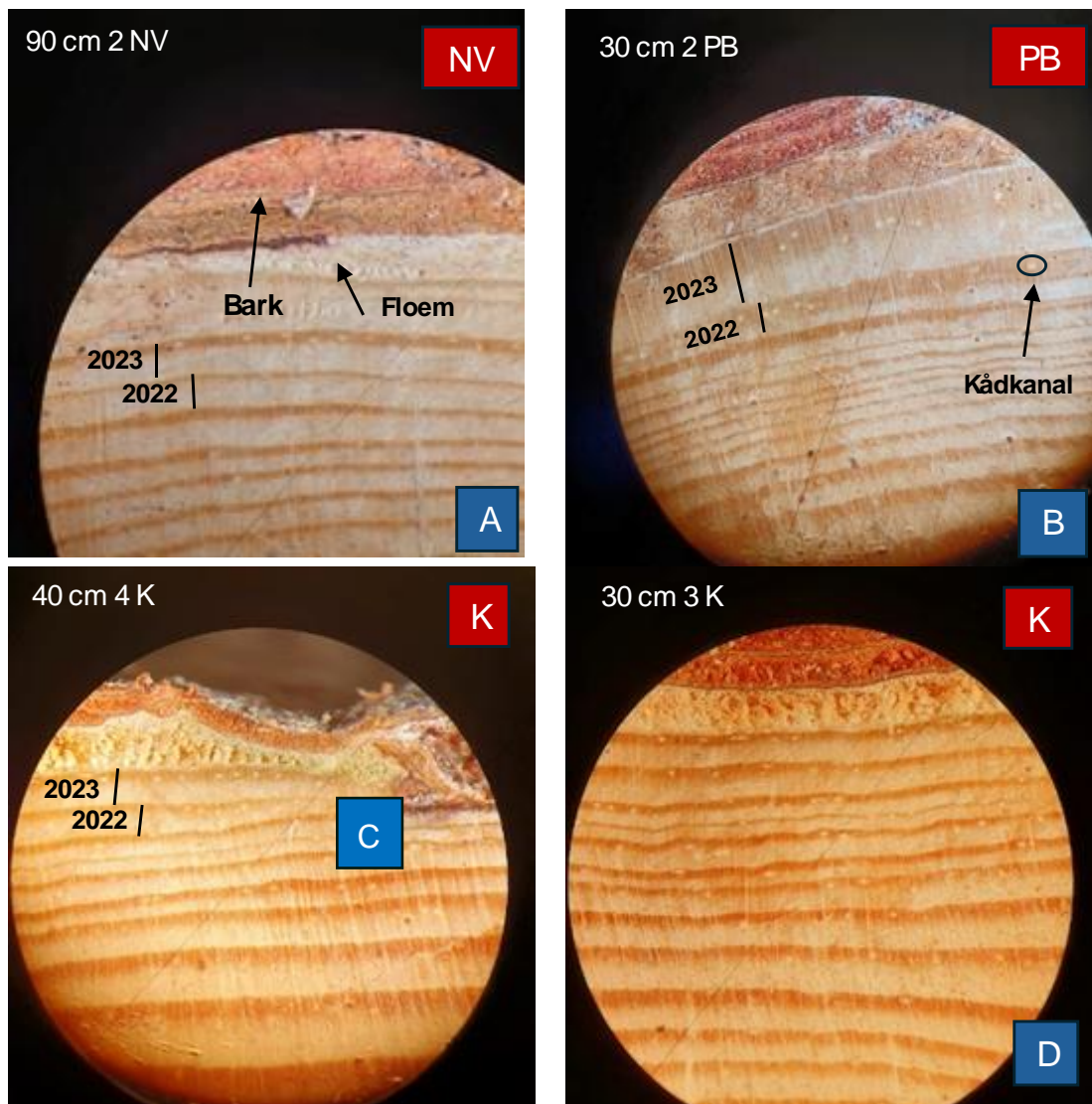
Figur 12. Illustration av kådimpregnering och dött floem. Bilderna visar exempel från de naturvårdsbrända (NV), punktbrända (PB) och katade (K) träden. Foton: Emma Munters.



Figur 13. Exempelbild av kådimpregneringens utbredning. De svarta prickarna markerar kådimpregneringens ungefärliga gräns i veden. Foton: Emma Munters.

3.2.3 Kådkanaler

En möjlig ökning av antalet kådkanaler hittades i de naturvårdsbrända, punktbrända och katade träden (fig. 13). I bild A (fig. 13) förekommer ett påtagligt stort antal kådkanaler i sensommarveden från 2021. Kådkanalerna syns som vita prickar i den mörkare delen av årsringen, en av dem är inringad för att illustrera exempel. I bild B och C är det möjligen ett större antal kådkanaler i sensommarveden år 2023 och 2022. Exempel K i visar på ett katat träd som möjligen har fler kådkanaler i sensommarveden från 2023. I bild E däremot syns ingen skillnad i mängden kådkanaler för något år.



Figur 14. Bilder av kådkanaler från de naturvårdsbrända träden (NV), punktbrända träden (PB) och de katade träden (K). Kådkanalerna syns som små vita prickar i sensommarveden. Årsringarna markeras med sträck om illustrerar den ved som bildats vilket år.

3.3 Andra observationer

3.3.1 Hydrauliska störningar

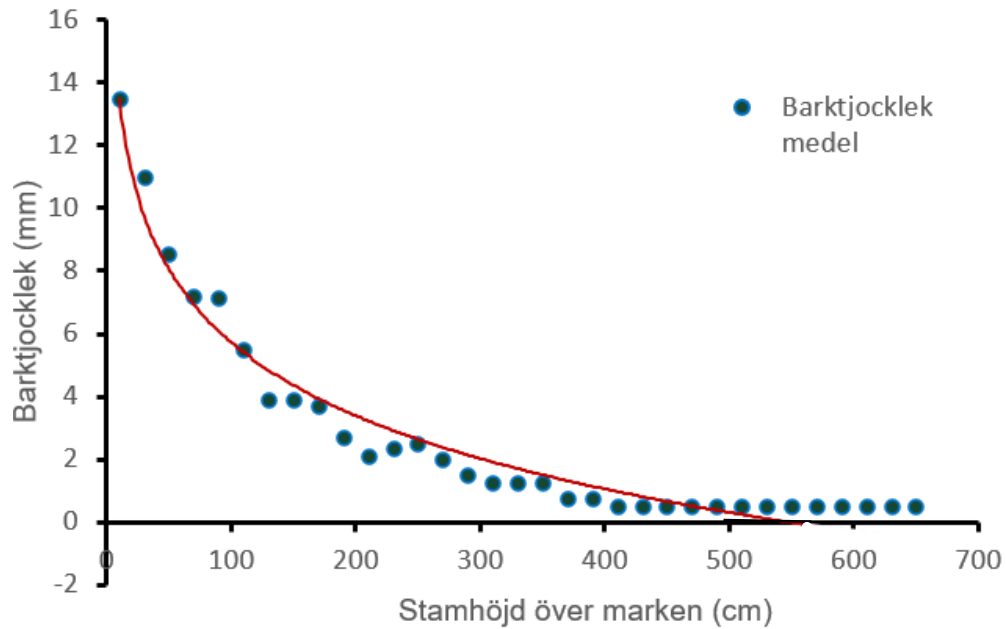
Vid provtagningen i februari upptäcktes att den vattenmättade och frusna splintveden framträdde mörk mot den torrare (och ljusare) kärnveden. I ett av de naturvårdsbrända träden (1 NV) upptäcktes ljusare partier i splintveden innanför sårskadan (fig. 14). Veden var i dessa zoner torrare än resterande splintved och till synes ej vattenledande. Defekten noterades i alla trissor mellan höjderna 110 cm och 470 cm. De ljusare partiernas utbredning sträckte sig i vissa fall ända från kärnveden till vedytan. I andra fall var den avgränsad mot sårytan utan kontakt med kärnveden.



Figur 15. Bilder av den hydrauliska defekten hos ett av de naturvårdsbrända träden, (1 NV). Pilen i båda bilderna pekar på det torra, ljusa området i splintveden. Den mörkare veden är fuktig och vattenledande. Bilden till vänster visar att flera trissor av samma träd på olika höjd hade liknande mönster i sårets riktning rakt uppåt i bilden.

3.3.2 Barktjocklek

En ytterligare parameter som noterades var medelvärdet av alla de fällda trädens barktjocklek mot höjd över marken (fig. 15). Kurvan antar ett logaritmiskt avtagande med höjd.



Figur 16. Graf över medelvärdet av de fällda trädens barktjocklek, inklusive innerbark, som en funktion av trädstammens höjd över marken. Den röda linjen är en logaritmiskt anpassad trendlinje av mätvärdena.

4. Diskussion

4.1 Diskussion

4.1.1 Kådimpregnering

Omfattningen och lokaliseringen av kådimpregnering skiljde sig åt mellan behandlingarna. De naturvårdsbrända träden uppvisade den axiellt mest utspridda kådimpregneringen (fig. 8, 9 och 10). I radiell ledd sträckte den sig i regel 1-4 mm millimeter in i veden från sårytan. Vid basen av NV-träden förekom däremot ingen kådimpregnering och dessutom var barkreduktionen försumbar. Frånvaron av kådimpregnering kan förklaras av att barken är som tjockast längst ned på stammen och därmed har bäst förutsättningar att skydda de inre vävnaderna mot letala temperaturer (Bär et al., 2019). Enligt Mantgem och Schwarts (2002) kan 1 cm tjock bark isolera innerbarken från letal hetta i 10 min vid 400 °C. Mina observationer visar att barktjockleken avtar logaritmiskt mot höjden (fig. 16). Eftersom barktjockleken är en avgörande faktor för att skydda mot hetta torde det innebära att isolationsförmågan avtar med höjden. Det är därför förklarligt att NV-träden, trots minskande värmexponering med höjd, fått värmeinducerade skador långt upp på stammen (Van Wagner, 1973).

De punktbrända tallarna hade en betydligt djupare kådimpregnering i radiell ledd än de naturvårdsbrända respektive katade träden (fig. 8, 9 och 10). Kådimpregneringen i PB-träden var lokaliserad en bit in i veden, som mest 25 mm från ytan sett, och föregicks av branddödad splintved. Det står i kontrast till de andra behandlingarna där kådindränkningen förekom precis vid vedytan. Skillnaden bör bero på att PB-träden brändes under en brinntid på bortåt 1,5 timmar, vilket mångfalt överskrider flammornas uppehållstid vid ett träd i samband med naturvårdsbränning (fig. 5). Vid naturvårdsbränning passerar flamfronten i regel på 2-3 minuter (Granström, muntligt, 2024). Således har punktbränningen inte bara lett till att letala temperaturer (>60 °C) nått genom bark, floem och kambium utan också en bit in i splintveden. På vissa platser var barken fullständigt bortbränd hos PB-träden, vilket gör splintveden mottaglig för hög värme. Det har skapat en kådsträng ungefär en centimeter in i veden. Är målet att skapa ett brandljud med kådimpregnering hos grövre tallar med tjock bark, kan förslagsvis punktbränning vara en gångbar metod för att åstadkomma en värmeinducerad skada i de levande vävnaderna. Ytterligare en iakttagelse hos PB-träden och NV-träden var att kådutgjutningen var djupare på vissa, lokala, platser. Dessa punkter syntes ofta innanför barksprickor där barken är väsentligt tunnare och isoleringsförmågan sämre.

Katningen bildade ett kådimpregneringsdjup jämförbart med naturvårdsbränningen, men grunt i jämförelse med punktbränningen (fig. 8, 9 och 10). Skadorna var centrerade vid det mekaniska påverkansområdet och således aldrig högre upp på stammen än 89 cm (tabell 1). Tidigare studier har pekat på en ökad kådhalt i veden vid mekanisk skada men inte presenterat den rumsliga utbredningen av kådimpregnering (Gustafsson et al. 2003; Gref et al. 2000; Oven och Torelli, 1999).

En trend som noterades för samtliga träd var att utsträckningen kådimpregnerad ved korrelerade väl med utsträckningen av dött floem och dött kambium (fig. 11, 12 och 13). Det verkar alltså vara så att kådimpregnering av veden bara induceras i direkt anslutning till zonen där floem/kambium dör eller avlägsnas. För att uppnå en kådimpregnering i veden är det därför viktigt att naturvårdsåtgärderna, mekaniskt eller genom värme, dödar dessa två lager.

Tidigare studier har visat att kådimpregnerad ved är rötbeständig (Gref et al., 2000). Kådimpregneringen som skapades efter naturvårdsbränningen, punktbränningen respektive katningen bör därför leda till rötbeständig och långlivad ved. Naturvårdsbränningen och punktbränningen genererade dessutom kolad bark. Bränns tallar med brandljud igen skapas även kolad ved. Eftersom kolad ved och långlivad ved är viktiga substrat för många organismer kan de här naturvårdsåtgärderna främja den biologiska mångfalden på lång sikt (Nilsson, 2005).

En ytterligare notering var en ökning av antalet kådkanaler i årsringarna från 2022, och 2022 (fig. 14). Många tall-arter bildar traumatiska kådkanaler, särskilt i axiellt led, när de utsätts för stress (Krokene et al., 2008; Arbellay et al. 2014b; Rodríguez-García, 2018). Den observerade ökningen 2022 och 2023 antas därför vara traumatiska kådkanaler. Observationerna var emellertid för få för att dra några generella slutsatser och jag föreslår därför vidare forskning på ämnet.

Något som kan ha påverkat resultatet är att behandlingarnas utförs under olika årstider. Punktbränningarna och katningarna gjordes på våren, medan naturvårdsbränningen gjordes den efterföljande sommaren. Rissanen et al. (2019) framhåller att temperatur och markvattenpotential kan påverka kådtrycket under korta tidsskalor, och således utgjutningen av kåda ur kådkanalerna. Eftersom dessa faktorer varierar med årstid kan kådtrycket ha påverkats av tid för åtgärd. Att trädet är relativt inaktivt under vintern och våren när punktbränning och katning sker kan också ha haft en möjlig påverkan på kådutgjutningen. Vidare studerades träden två växtsäsonger efter behandling. Det hade varit intressant att följa tallens kådrespons olika lång tid efter åtgärd för att se om kådimpregneringen eventuellt ökar ytterligare i veden.

4.1.2 Allmän påverkan

Den allmänna påverkan på träden efter behandling skiljde sig åt (fig. 6.). Naturvårdsbränningen gav generellt de mest omfattande skadorna. NV-träden uppvisade den största sotningen i höjd och omkrets. Dessutom var dessa träd de enda som uppvisade kronskador och insektsangrepp (tabell 1 och 2). Hög sotning, hög barrdödgräns, hög kådutgjutning på barken och högt lokaliserad kådimpregnering i veden ser ut att stå i samband med varandra (tabell 1). Orsaken till den omfattande påverkan bör vara att naturvårdsbränningen gav upphov till en brand med hetare temperaturer i höjddled. Enligt Van Wagner (1973) beror kronskadornas omfattning till största del på brandens intensitet. Kronreduktionen kan ge upphov till minskad fotosyntes som inverkar negativt på trädets tillväxt och vitalitet (Bär et al., 2019). Hos ett av NV-träden noterades dessutom en trolig hydraulisk störning som kan vara orsakad av brandinducerad embolism (Bär et al., 2019) (fig. 15). Möjligen kan en rot ha skadats i branden och därmed varit oförmögen att upprätthålla en kontinuerlig vattenpelare i splintveden. En annan teori är att elden stimulerat en ovanligt stor transpiration från kronan vilket rubbat trädets vattenbalans (Bär et al. 2019). Att störningen uppkom hos ett av de naturvårdsbrända träden kan givetvis vara av slump. Det kan också bero på att en naturvårdsbränning påverkar en större del av trädet och på så sätt kan ha stört fler funktioner än de andra behandlingarna.

De punktbrända träden var måttligt påverkade av åtgärden. Det förekom inte sot över en meters höjd på stammen, ej heller runt hela omkretsen. Två av PB-träden var angripna av svamp i det kådimpregnerade området. Även några av de ej provtagna NV-träden var svampangripna. Sammantaget kan det här inverka negativt på NV-tallarnas såväl som PB-tallarnas vitalitet och orsaka en fördröjd död (Bär et al., 2019). Det bör dock noteras att ingen av de provtagna tallarna var i dåligt skick. Däremot var flera av de observerade NV-tallarna döda eller på väg att dö. De katade träden, å andra sidan, var de minst påverkade träden i studien med varken noterad krondöd eller andra angrepp. Mekanisk stress i mindre skala påverkar enligt tidigare studier inte trädets vitalitet nämnvärt och därför finns det skäl att tro att de katade tallarna, liksom övriga provtagna träd i studien, kommer att överleva med god vigör (Cukor et al. 2021; Zaluma et al. 2022).

Det förekom inga synliga insektsangrepp på vare sig de punktbrända eller katade träden. Punktbränningen orsakade också en relativt liten nedsättning av trädets vitalitet vilket kan avhållit insekterna från angrepp. Det kan också varit en konsekvens av att kådimpregneringen fungerande avstötande och att trädens läkningsprocess var lyckad. Träden kommer alltså med stor sannolikhet att leva vidare och så småningom bestå som långlivad, död ved. Många av de naturvårdsbrända träden var däremot insektsangripna, i synnerhet de med omfattande kronskador. En trolig orsak till detta är att många träd i området var försvagade. Dessutom orsakar en naturvårdsbrand en betydligt kraftigare rökutveckling än punktbränning vilket många brandberoende insekter navigerar

efter Wikars 2004). Naturvårdsbränning kan således vara överlägset för att främja sådana arter.

4.1.3 Sammanfattning

Sammanfattningsvis visar den här studien att katning och punktbränning ger en delvis likartad skaderespons som naturvårdsbränning. Alla metoder bidrar till att bilda kådimpregnerad ved men med olika radiell och axiell spridning. Katning och punktbränning kan dock inte rakt av användas som substitut för naturvårdsbränning då naturvårdsbränning ger mer omfattande fysikaliska och ekologiska konsekvenser. Punktbränning och katning kan däremot vara ett komplement på platser där områdesbränning av olika skäl inte är lämpligt och där det finns ett behov av att öka variationen av vedkvalitéer.

4.2 Metoddiskussion

Den här studien bör betraktas som en pilotstudie för framtida forskning på tallens skaderespons vid brandåtgärder och katning. I studien ingick totalt åtta tallar, vilket bör ökas i framtida studier för att se tydligare mönster och kunna dra mer allmängiltiga slutsatser. Skademönstren i den här studien var dock samstämmiga inom varje behandling och möjliggör därför att vissa slutsatser kan dras.

En betydande del av studien ägnades åt metodutveckling. Eftersom det saknas forskning på tallens rumsliga kådimpregnering testades olika strategier för att uppskatta den. Den metod som visade sig fungera bäst var att såga talltrissorna tunt, omkring 1 cm, och genomlysa dem med lampa bakifrån. Huvuddelen av bedömningen i den här studien gjordes dock med relativt tjocka trissor belysta med lampa ovanifrån och under lupp vid behov. Det kan, i vissa svårbedömda fall, ha gett ett missvisande resultat då kådimpregneringens utbredning inte alltid är så påtaglig. I kommande forskningsprojekt rekommenderas därför den ljusbaserade metoden. Det hade även varit intressant att kvantifiera arean av kådimpregnering för varje trissa för att skapa en mer detaljerad bild av skadans omfattning.

Referenser

- Arbellay, E. *et al.* (2014 a) 'Changes in tracheid and ray traits in fire scars of North American conifers and their ecophysiological implications', *Annals of Botany* 114(2), s. 223–232. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu112>.
- Arbellay, E. *et al.* (2014 b) 'Resin duct size and density as ecophysiological traits in fire scars of *Pseudotsuga menziesii* and *Larix occidentalis*', *Annals of Botany*, 114(5), s. 973–980. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu168>.
- Barnett, J.P. (2019) *Naval stores: A history of an early industry created from the South's forests*. SRS-GTR-240. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, s. SRS-GTR-240. Tillgänglig: <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-240>.
- Bär, A., Michaletz, S.T. and Mayr, S. (2019) 'Fire effects on tree physiology', *New Phytologist*, 223(4), s. 1728–1741. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1111/nph.15871>.
- Bär, A., Nardini, A. and Mayr, S. (2018) 'Post-fire effects in xylem hydraulics of *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica*', *The New Phytologist*, 217(4), s. 1484–1493.
- Cogos *et al.* (2017) Fire Management in The Boreal Forest of Swedish Sápmi: Prescribed Burning and Consideration of Sami Reindeer Herding During 1920–1970 . *Environmental Management* (2021) 68:295–309. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01503-9>
- De Micco, V. *et al.* (2013) 'Fire influence on *Pinus halepensis*: Wood responses close and far from the scars', *IAWA Journal*, 34(4), s. 446–458. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1163/22941932-00000036>.
- FN. (2022) Ekosystem och biologisk mångfald. <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-15-ekosystem-och-biologisk-mangfald/> Hämtad: 2024-04-01
- Granström, A. (2001) Fire Management for Biodiversity in the European Boreal Forest, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16(sup003), s. 62–69. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1080/028275801300090627>.
- Gref, R. *et al.* (1999) Influence of wood extractives on brown and white rot decay in Scots pine heart-, light – and sapwood. *Material und organismen*. Vol. 33 (2), s. 119-128
- Gustafsson, G. *et al.* (2003) Changes in chemical constituents in the sapwood of *Pinus sylvestris* due to debarking', *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18(1), s. 90–96. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1080/02827580308617>.

- Harju, A.M. *et al.* (2008) 'Wounding response in xylem of Scots pine seedlings shows wide genetic variation and connection with the constitutive defence of heartwood', *Tree Physiology*, 29(1), s. 19–25. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn006>.
- He, T. *et al.* (2012) 'Fire-adapted traits of *Pinus* arose in the fiery Cretaceous', *New Phytologist*, 194(3), s. 751–759. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04079.x>.
- Hillis, W.E (1987) *Heartwood and Tree Exudates*. Springer -Verlag Berlin Heidelberg, Germany
- Keeling, C.I. and Bohlmann, J. (2006) 'Diterpene resin acids in conifers', *Phytochemistry*, 67(22), s. 2415–2423. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.08.019>.
- Krokene, P., Nagy, N.E. and Krekling, T. (2008) 'Traumatic Resin Ducts and Polyphenolic Parenchyma Cells in Conifers', in A. Schaller (ed.) *Induced Plant Resistance to Herbivory*. Dordrecht: Springer Netherlands, s. 147–169. Tillgänglig: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8182-8_7.
- Kuuluvainen, T., Aakala, T. and Várkonyi, G. (2017) 'Dead standing pine trees in a boreal forest landscape in the Kalevala National Park, northern Fennoscandia: amount, population characteristics and spatial pattern', *Forest Ecosystems*, 4(1). Tillgänglig: <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0098-7>.
- Larsson Ekström, A. *et al.* (2023) 'Reinventory of permanent plots show that kelo lichens face an extinction debt', *Biological Conservation*, 288, s. 110363. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110363>.
- Van Mantgem, P. and Schwartz, M. (2003) 'Bark heat resistance of small trees in Californian mixed conifer forests: testing some model assumptions', *Forest Ecology and Management*, 178(3), s. 341–352. Tillgänglig: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00554-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00554-6).
- Niemelä, T., Wallenius, T. and Kotiranta, H. (2002) 'The kelo tree, a vanishing substrate of specified wood-inhabiting fungi', *Polish Botanical Journal*, 47(2), s. 91–101.
- Nilsson, M. (2005). *Vägledning för brand och bränning i skyddad skog*. Naturvårdsverket.
- Oven, P. och Torelli, N. Response of the Cambial Zone in Conifers to Wounding. *Phyton*. Vol. 39 (3). s. 133-137.
- Partelli-Feltrin, R. *et al.* (2021) 'Short- and long-term effects of fire on stem hydraulics in *Pinus ponderosa* saplings', *Plant Cell and Environment*, 44(3), s. 696–705. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1111/pce.13881>.
- Ramberg, E. (2017) *Bränder på skogsmark i Sverige*. Kandidatuppsats, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. <http://stud.epsilon.slu.se>
- Rissanen, K. *et al.* (2019) 'Temporal and Spatial Variation in Scots Pine Resin Pressure and Composition', *Frontiers in Forests and Global Change*, 2. Tillgänglig: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00023>.
- Rodríguez-García, A. *et al.* (2018) 'Can prescribed burning improve resin yield in a tapped *Pinus pinaster* stand?', *Industrial Crops and Products*, 124, s. 91–98. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.049>.

- Santaniello, F. *et al.* (2017) 'Large proportion of wood dependent lichens in boreal pine forest are confined to old hard wood', *Biodiversity and Conservation*, 26(6), s. 1295–1310. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1301-4>.
- Schweingruber, F. H, 2007. *Wood Structure and Environment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Skogsstyrelsen. (2022). 'Levande skogar. Fördjupad utvärdering 2023'. Skogsstyrelsen, Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-2022-12-levande-skogar---fordjupad-utvardering-2023.pdf>. Hämtad: 2023-04-01
- Van Wagner, C.E. (1973) 'Height of Crown Scorch in Forest Fires'. *Canadian Journal of Forest Research*. 3(3).
- Venugopal, P. *et al.* (2015) 'Phenolic compounds in scots pine heartwood: Are kelo trees a unique woody substrate?', *Canadian Journal of Forest Research*, 46(2), s. 225–233. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0498>.
- Wetterberg, G. (2018) *Träd – En vandring i den svenska skogen*. Albert Bonniers förlag. Norhaven, Danmark.
- Wikars, L.-O. (2004) 'Brandberoende insekter – respons på tio års naturvårdsbränningar', *Fauna och Flora*, 99, s. 28–34.
- Zaluma, A. *et al.* (2022) 'Long-term pathological consequences of resin tapping wounds on stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)', *Trees - Structure and Function*, 36(5), s. 1507–1514. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02307-y>.

Muntliga:

Granström, A. Universitetslektor för Skogens Ekologi och Skötsel. Umeå (2024) Samtal 21 maj.

Paulsson, N. Skogskonsulent, Skogsstyrelsen i Bollnäs (2024) Telefonsamtal 17 april.

Tegenfeldt, V. Naturvårdsspecialist på Sveaskog i Vindeln, Västerbotten. (2024) Samtal 8 april.

Tack

Jag vill rikta ett stort och varmt tack till Anders Granström som har varit min handledare för kandidatuppsatsen. Du har inte bara stöttat mig med kunskap och goda råd, utan också gett bränsle åt min nyfikenhet och upptäckarlust. Jag vill även tacka Viktoria Tegenfeldt på Sveaskog som tog initiativet till det här arbetet. Du har bistått med såväl en hjälpande hand som med uppmuntrande heja-rop längs vägen. Jag vill också tacka David Rönnblom på Holmen som givit mig tillåtelse att hugga ned ett antal naturvårdsbrända träd på företagets mark. Slutligen vill jag tacka Mattias Edman på Mittuniversitetet bidragit med sin sakkunnighet och föreslagit lämpliga infallsvinklar på problemet samt delat med sig av passande läsning.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.