

GRADEN AV SKADA PÅ UNDERVEGETATIONEN SAMT HUMUSLAGRETS MINSKNING VID NATURVÅRDSBRÄNNING



foto: Saara Lilja

Carina Järvinen
Pro gradu-avhandling
Institutionen för bio- och miljövetenskaper
Helsingfors universitet
2004

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion Biovetenskapliga fakulteten		Laitos – Institution Institutionen för bio- och miljövetenskaper	
Tekijä – Författare Carina Järvinen			
Työn nimi – Arbetets titel Graden av skada på undervegetationen samt humuslagrets minskning vid naturvårdsbränning			
Oppiaine – Läroämne Miljöbiologi			
Työn laji – Arbetets art Pro gradu-avhandling		Aika – Datum juni 2004	Sivumäärä – Sidoantal 52 s.
<p>Tiivistelmä Referat</p> <p>Den brända arealen skog har under de senaste decennierna minskat kraftigt i vårt land. Både avsaknaden av färska brandtytor och de efter branden följande successionsstadierna är en bidragande orsak till att biodiversiteten i skogarna minskat. Restaureringsmetoder som innefattar brännande av skog bör utvecklas. En brand är en komplex process, på brandresultatet inverkar: områdets topografi, växtlighetstyp och väderförhållanden, bränslets typ, mängd och torrhetsgrad. Den efterföljande växtsuccessionen på en brandyta har konstaterats vara beroende av bl.a. den glödande förbränningens omfattning. Målsättningen med detta pro gradu-arbete var att undersöka och förklara brandresultatet vid experimentella naturvårdsbränningar. Brandresultatet mättes som humuslagrets minskning i branden samt fördelningen av brandskadeklasser i fält- och bottenskiktet. Genom att undersöka brandskadan eftersträvades en viss förutsägbarhet av växtlighetens succession efter branden.</p> <p>I experimentet ingick 12 st. provytor och fyra hyggesbehandlingar. 9 st. av provytorna höggs så att ca 50 m³/ha stående träd lämnades. Av de huggna träden lämnades på 3 ytor 5 m³/ha, på 3 ytor 30 m³/ha och på 3 ytor 60 m³/ha liggande på marken. 3 ytor var kontrolltytor där inga hyggen utfördes. Alla 12 ytor brändes. I undersökningens frågeställningar ingick huruvida mängden hyggesrester och lågor gav ökad brandskada, hurdant sambandet mellan humuslagrets fuktighetsgrad och dess konsumtion i branden var samt om det fanns något samband mellan fält- och bottenskiktets artsammansättning och brandresultatet. Av bottenskiktets mossor undersöktes <i>Pleurozium schreberi</i>, <i>Hylocomium splendens</i> och <i>Dicranum</i> spp., av fältskiktets arter <i>Vaccinium myrtillus</i>, <i>V. vitis-idaea</i>, <i>Deschampsia flexuosa</i> och <i>Maianthemum bifolium</i>.</p> <p>Inget samband mellan mängden hyggesrester och brandresultatet kunde konstateras. Humuslagret minskade i medeltal mest på de ytor där 30 m³/ha träd lämnats på marken. Hyggesbehandlingarna invercade på humuslagrets fuktighet så att det torraste humuslagret fanns på kontrolltytorna medan det fuktigaste på de ytor där 60 m³/ha liggande träd lämnats. En korrelation kunde påvisas mellan humuslagrets fuktighetsprocent före brand och humuslagrets minskning i branden så att fuktigare humus brann sämre. Av de undersökta mossorna fanns endast för <i>Pleurozium schreberis</i> del en skillnad i täckningsgrad före brand mellan de ytor där humuslagret minskat i branden och de där det inte minskat. På de ytor där humuslagret minskade mycket växte från början en större andel <i>P. schreberi</i> än på de ytor där humuslagret inte minskade.</p> <p>En mycket stor variation syns i resultaten, branden har även i dessa experimentbränningar varit en komplex händelse. Ökad bränslemängd har inte automatiskt medfört ökad brandskada, utan hyggesbehandlingarna har även på andra sätt inverkat på brandresultatet. Den stora variationen mätpunkterna emellan tyder på att växtlighetens succession efter branden kommer att vara mosaikartad, något som är vanligt också efter naturligt uppkomna skogsbränder.</p>			
Avainsanat – Nyckelord Bottenskikt, bränsle, humuslager, naturvårdsbränning, restaurering, skogsbrand			
Säilytyspaikka – Förvaringställe Referensbiblioteket vid institutionen för bio- och miljövetenskaper			
Muuta tietoja Arbetet har gjorts som ett samarbete mellan institutionen för bio- och miljövetenskaper och institutionen för skogsekologi vid Helsingfors universitet.			

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion Biotieteellinen tiedekunta		Laitos Institution Bio- ja ympäristötieteiden laitos	
Tekijä/Författare Carina Järvinen			
Työn nimi Arbetets titel Aluskasvillisuuden vaurioituminen sekä humuskerroksen väheneminen luonnonhoidollisessa kulotuksessa			
Oppiaine Läroämne Ympäristöbiologia			
Työn laji Arbetets art Pro gradu-tutkielma		Aika Datum kesäkuu 2004	Sivumäärä Sidoantal 52 s.
<p>Tiivistelmä Referat</p> <p>Palaneen metsän pinta-ala maassamme on viime vuosikymmeninä merkittävästi pienentynyt. Metsien biodiversiteetin vähenemiseen on vaikuttanut sekä tuoreiden palo-alueiden että palon jälkeisten sukkessiovaiheiden puute. Metsän polttoa sisältäviä ennallistamismenetelmiä tulisi kehittää. Metsäpalo on moninainen prosessi, jossa palotulokseen vaikuttavat: alueen topografia, kasvillisuustyyppi ja sääolosuhteet, polttoaineen tyyppi, -määrä sekä kuivuusaste. Metsäpaloa seuraavan kasvillisuussukcession on todettu riippuvan mm. humuksen palamissyvyydestä. Tämän pro gradu-tutkielman tavoitteena oli tutkia ja selittää palotulosta kokeellisissa luonnonhoidollisissa kulotuksissa. Palotulos mitattiin humus-kerroksen vähenemisenä palossa sekä kenttä- ja pohjakerroksen palovaurioluokituksen avulla. Tutkimalla palovauriota tavoiteltiin ennustettavuutta kasvillisuuden sukkessiosta palon jälkeen.</p> <p>Koe koostui 12 koealasta ja neljästä erilaisesta hakkuukäsittelystä. Yhdeksältä koealalta puustoa hakattiin niin, että pystyyn jäi n. 50 m³/ha. Pystytuuston lisäksi kolmelle hakkuualalle jätettiin 5 m³/ha, kolmelle 30 m³/ha ja kolmelle 60 m³/ha maapuuta, ja loput poistettiin. Kontrollialoja, joilla ei tehty hakkuita, oli kolme. Kaikki 12 koealaa poltettiin. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään: mahdollista yhteyttä lisääntyneen hakkuutähteen- ja maapuumäärän ja palovaurion välillä, humuskerroksen kosteuden ja palossa vähentyneen humuksen välistä yhteyttä sekä oliko kenttä- ja pohjakerroksen lajikoostumuksen ja palotuloksen välillä jokin yhteys. Pohjakerroksen sammalista tarkasteltiin kolmea lajia/ sukua: <i>Pleurozium schreberi</i>, <i>Hylocomium splendens</i> ja <i>Dicranum</i> spp., kenttäkerroksen lajeista neljää lajia: <i>Vaccinium myrtillus</i>, <i>V. vitis-idaea</i>, <i>Deschampsia flexuosa</i> ja <i>Maianthemum bifolium</i>.</p> <p>Hakkuutähteen määrän ja palotuloksen välillä ei havaittu yhteyttä. Humuskerros väheni eniten niillä aloilla, joille oli jätetty 30 m³/ha maapuuta. Hakkuukäsittelyt vaikuttivat humuskerroksen kosteuteen niin, että kontrollialoilla humuskerros oli kuivin. Kostein humuskerros oli niillä aloilla, joille oli jätetty 60 m³/ha maapuuta. Humuskerroksen paloa edeltävä kosteusprosentti ja humuskerroksen väheneminen palossa korreloivat keskenään niin, että kosteampi humus paloi huonommin. Tutkituista sammalista vain <i>Pleurozium schreberi</i>:llä todettiin ero paloa edeltävässä peittävyysprosentissa niillä aloilla, joilla humus väheni palossa ja niillä joilla humus ei vähentynyt. Aloilla, joilla humus väheni paljon, kasvoi ennen paloa runsaammin <i>P. schreberi</i>:ä kuin niillä, joilla humuskerros ei vähentynyt palossa.</p> <p>Tuloksissa näkyy erittäin suurta vaihtelevuutta, palotapahtuma on myös näissä kokeellisissa poltoissa ollut kompleksi. Lisääntynyt polttoainemäärä ei ole automaattisesti tarkoittanut lisääntynyttä palovauriota, vaan hakkuukäsittelyt ovat myös toisin vaikuttaneet palotulokseen. Havaintopisteiden välinen suuri vaihtelu viittaa siihen, että palon jälkeisestä kasvillisuuden sukkessiosta tulee mosaiikkimainen – mikä on myös luontaisesti syttyneiden palojen jälkeen tavallista.</p>			
Avainsanat – Nyckelord Ennallistaminen, humuskerros, luonnonhoidollinen kulutus, pohjakerros, metsäpalo, polttoaine			
Säilytyspaikka – Förvaringställe Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen käsikirjasto			
Muita tietoja Työ on tehty yhteistyönä bio- ja ympäristötieteiden laitoksen sekä metsäekologian laitoksen välillä.			

Innehållsförteckning:

1. INLEDNING	1
1.1. Störningsdynamik	1
1.2. Elden i Finlands skogar historiskt sett och idag	1
1.3. Skogsbrandens roll ekologiskt samt i skogsrestaurering	2
2. BRANDDYNAMIK	4
2.1. Brandintensitet och glödande förbränning	4
2.2. Faktorer som påverkar brandresultatet	5
2.2.1. Bottenskiktet vid brand	6
2.2.2. Fältskiktet vid brand	7
2.2.3. Trädsiktet vid brand	7
2.3. Succession efter branden	8
2.3.1. Fältskiktets succession	8
2.3.2. Bottenskiktets succession	9
2.3.3. Trädsiktets succession	10
3. UNDERSÖKNINGEN OCH DESS FRÅGESTÄLLNING	10
3.1. Presentation av forskningsprojektet	10
3.2. Målsättningar och frågeställningar	11
4. MATERIAL OCH METODER	13
4.1. Undersökningsområdet	13
4.2. Experimentet	16
4.2.1. Experimentuppläggning	16
4.2.2. Brand- och hyggesbehandlingar	16
4.3. Sampel och mätningar	19
4.3.1. Växtligheten och dess grad av förstörelse	19
4.3.2. Mängden bränsle	21
4.3.3. Brandens inverkan på humuslagrets tjocklek	21
4.3.4. Brandskadeklasser	22
4.3.5. Humuslagrets fuktighet	23
4.4. Analys av materialet	24
5. RESULTAT	25
5.1. Brandresultatet	25
5.1.1. Humuslagret/mosstäcket och dess förbrukning i branden	25
5.1.2. Brandskadeklasser för bottenskiktet	29
5.1.3. Brandskadeklasser för fältskiktet	29
5.2. Brandresultatet i förhållande till mängden hyggesrester och mängden fällda träd	30
5.3. Brandresultatet i förhållande till humuslagrets fuktighet	32
5.4. Växtligheten och brandresultatet	34
5.4.1. Bottenskiktet	34
5.4.2. Fältskiktet	35
6. DISKUSSION	37
6.1. Utvärdering av mät- och undersökningsmetoderna	37
6.2. Brandresultatet i förhållande till experimentområdenas egenskaper	38
6.3. Brandresultatet och växtligheten	42
6.4. Behandlingsresultatets betydelse för växtsuccessionen	44
6.5. Fortsatta undersökningar	45
6.6. Sammanfattning av de viktigaste resultaten	46
7. TACK	47
Litteratur:	49

1. INLEDNING

1.1. Störningsdynamik

I flera decennier fanns bland ekologer en uppfattning om att naturen fungerar enligt en ekologisk balans och att skogen utvecklas enligt ett förutsägbart successionsmönster vars ändpunkt är klimaxskedet. Grunden till detta resonemang lades av Clements (1916), och har utvecklats och förädlats av flera forskare efter honom, bl.a. Whittaker (1953). Från och med 1970-talet framåt har denna syn dock gradvis ändrats och i ett modernt betraktelsesätt är naturen en dynamisk helhet som skapas och förändras av olika störningsregimer. I skogsekosystemen kan störningarna vara stormar, insektangrepp, brand, sjukdomsalstrare, översvämningar eller herbivori av djur såsom älg och bäver (Esseen m. fl. 1997, Engelmark & Hytteborn 1999). Dessa störningar formar ekosystemen och deras succession utgående från ekosystemens grundförutsättningar: klimat, jordmån osv. Hur ofta störningarna återkommer och hur omfattande de är inverkar i hög grad på ekosystemens tillstånd vid en viss tidpunkt. Utöver dessa störningsfaktorer har även människan alltid påverkat sin miljö. Omfattningen och arten av denna påverkan har sett olika ut under tidens gång, ett exempel på detta är brandfrekvensen i våra skogar.

1.2. Elden i Finlands skogar historiskt sett och idag

Elden har alltid varit en av de störningsfaktorer som påverkat skogarna i vårt land (Parviainen 1996). Bränder har uppkommit naturligt genom blixtantändning. Vilka skogar som antänts av blixtnedslagen och de antända brändernas omfattning gömmer i sig en helt egen dynamik.

Mänsklig aktivitet har i hög grad påverkat brandfrekvensen; historiskt sett har människans närvaro i ett område medfört förhöjd brandfrekvens (Lehtonen m. fl. 1996, Niklasson & Granström 2000), idag är situationen dock den motsatta. Människan har tänt bränder oavsiktligt (t.ex. genom dåligt släckta brasor) eller avsiktligt genom svedjebruk, hyggesbränning, för att skapa betes- och jaktmarker osv. (Parviainen 1996).

Brandfrekvensen i boreal barrskog har konstaterats varierat kraftigt med skogstyp. Enligt Zackrisson (1977) har moskogar brunnit oftast, med 50 års mellanrum eller t.o.m. oftare, medan fuktiga granskogar mer sällan, med ca 120 års mellanrum. För grandominerade

skogar i södra Finland har Tolonen (1978) kommit fram till en brandfrekvens på 238 ± 48 år. Pitkänen (1999), som har studerat brandintervall med hjälp av sedimentundersökningar, kom fram till ett brandintervall på 70 – 124 år vid undersökning av en sjö där de omgivande skogarna var grandominerade, och endast tiden före mänsklig aktivitet funnits i området beaktades. Det har också funnits brandrefugier, som aldrig påverkats av skogsbrand. Dessa är bl.a. raviner, vissa öar och myrholmar (Angelstam & Rosenberg 1993).

Då man talar om skogsbrand i Finland är svedjebruket, dess omfattning och karaktär något som inte kan förbigås. Svedjebränningen har varit den främsta förutsättningen för bosättnings spridning i vårt land. Olika typer av svedjebruk har tillämpats i olika delar av landet under olika tider. Enligt Heikinheimo (1915) hade 50-75 % av den totala skogsytan påverkats av svedjebränning i början av 1900-talet. Svedjebränningen avtog och reglerades i lag i början av 1900-talet på grund av att man blivit bekymrad över skogarnas tillstånd (som vid den tiden också influerats av omfattande tjärbränning) och deras ekonomiska betydelse blivit större.

Efter att svedjebränningen i praktiken upphört blev en ny form av bränning av skog relativt allmän, nämligen hyggesbränning, som används som markberedningsmetod vid förnyandet av ett skogsbestånd. Metodens popularitet har växlat; en topp fanns i slutet av 1920-talet och en annan vid 1950-1960-talen. Den totala arealen skog som berörts av hyggesbränning beräknas till endast ca 0.5 milj. ha eller 2-3 procent av Finlands totala skogsareal (Parviainen 1996).

Under de senaste decennierna har eldens inverkan på skogen minskat drastiskt, dels på grund av att avsiktlig skogsbränning minskat men också på grund av att de naturliga bränderna kontrolleras med hjälp av effektiva preventiva och släckningsåtgärder. Arealen skog som brunnit i Finland under de senaste decennierna har endast uppgått till några hundra hektar/år; under perioden 1992 - 2001 brann mellan 95 ha och 1171 ha årligen (Metsätilastollinen vuosikirja 2002:91).

1.3. Skogsbrandens roll ekologiskt samt i skogsrestaurering

Under årmiljonernas lopp har skogen och dess arter anpassat sig till de återkommande bränderna. Både brandkrävande och brandgynnade arter har utvecklats (Rowe 1983) liksom också arter som gynnas av de successionsstadier som följer efter branden. I de nordiska

länderna känner man t.ex. till 35 insektarter vars huvudsakliga levnadsmiljö utgörs av mindre än sex år gamla skogsbrandytor (Wikars 1992). Växtarter i Norden som är direkt beroende av brand är bl.a. *Geranium bohemicum* och *Geranium lanuginosum*. Deras frön kräver upphettning till en viss temperatur för att överhuvudtaget gro (Dahlgren 1943). I Medelhavsområdet, där bränder p.g.a. klimatet är mycket oftare återkommande, finns otaliga brandberoende växter, s. k. pyrofyter. Två av de vanligaste barrträden, *Pinus halepensis* och *P. brutia*, har kottar som öppnar sig av hettan vid brand och kan kolonisera brandytan genast från frö. Bland gräs, ris och örter finns också flera pyrofyter, bl. a. kan *Oryzopsis miliacea* och *Avena sterilis* nämnas (Naveh 1974).

Sammantaget spelar elden en betydande ekologisk roll i den nordiska skogsnaturen och faktum är att vi håller på att förlora en del av biodiversiteten i och med kraftigt minskande bränder samtidigt som våra skogsvårdsmetoder har blivit allt mer storskaliga och nyanslösa. Nästan all skogsmark i Finland är i ekonomiskogsbrukets användning, endast 6,6 % av skogen är strikt skyddad (Handlingsplan 2002) och av södra Finlands och Österbottens skogar är endast 1,1 % skyddade (Metsien suojelu 2000). Av de hänsynskrävande arterna i Finland är 43 % skogsarter (Rassi m. fl. 2001) och merparten av dem lider av brist på lämpliga habitat. En stor del av de skogsskyddsområden som i dag finns bär spår av ekonomiskogsbruk. Därför är deras uppbyggnad och struktur inte lämplig för många av de hotade arterna. Den process som syftar till att återställa ett områdes naturvärden kallas restaurering. Idag finns det ett behov av att restaurera såväl naturskyddsområden som vanlig ekonomiskog för att förbättra deras naturskyddsfunktion (Kuuluvainen 2002).

Vid restaurering har man som mål att sätta igång processer som skapar områden som ligger strukturmässigt så nära områden i naturtillstånd som möjligt. Helt och hållet identiska förhållanden kan man aldrig skapa och man strävar därför inte heller till att göra det, eftersom naturens dynamik är komplex (Kuuluvainen 2002). Skapandet av en större areal bränd skog har identifierats som en viktig del av skogsrestaureringen i vårt land. Med hjälp av fler brända områden skapar man varma öppna områden, unga lövträdssuccessioner, ökad mängd murken och framför allt bränd murken ved och skogar med mångsidiga trädbestånd (Ennallistaminen 2003).

2. BRANDDYNAMIK

2.1. Brandintensitet och glödande förbränning

För att en brand ska kunna uppstå behövs tre grundläggande saker: 1) tillräckligt med bränsle av lämpligt slag, 2) bränslet måste vara tillräckligt torrt för att en gnista ska antända det och 3) en antändningskälla (Van Wagner 1983). Hurudan själva branden sedan blir beror på en rad olika faktorer som sammanverkar i en komplex process. Vid beskrivning av branden är begrepp som brandintensitet och glödande förbränning (eng. smoldering combustion) viktiga.

Dessa begrepp är mycket viktiga p.g.a. att en stor del av successionen efter branden har samband med just brandintensiteten och den glödande förbränningen. Brandintensiteten har av Byram (1959) definierats som produkten av bränslevärdet, alltså bränslets värmeinnehåll (kJ/kg), mängden konsumerat bränsle (kg/m^2) och spridningshastighet (m/s). Brandintensiteten mäts i kW/m och är ett bra mått på hur stor skada branden kan göra åt skogen ovanför markytan. Brandintensiteten har endast liten direkt inverkan på hur mycket värme från branden som leds till marken (Johnson 1992, Bradstock & Auld 1995) och en brand med hög intensitet behöver inte förbränna någon stor del av markskiktet och humuslagret (Schimmel & Granström 1996). I Ugglas (1957) undersökning av hyggesbränningar framgår det att temperaturförändringen i marken är mycket obetydlig på de ytor där det fanns endast litet hyggesrester. Marken brinner då förbränningsprocessen, efter det att eldfronten dragit förbi, fortsätter i humusskiktet genom s.k. glödande förbränning. Om det finns en stor mängd hyggesrester har branden konstaterats fortsätta i dessa efter det att själva brandfronten dragit förbi (Schimmel & Granström 1996), i dessa fall inverkade detta avgörande på temperaturerna i marken (Ugglå 1957). Denna typ av förbränning kan fortgå i flera timmar, dagar och t.o.m. veckor, medan brandintensiteten mäter endast förbränningen vid brandfronten och denna varar i sekunder-minuter (Johnson & Miyanishi 2001). De ekologiska effekterna av en brand är mer beroende av den glödande förbränningen än av brandintensiteten. Ett mått på hur stor den glödande förbränningen varit i en brand är hur stor del av humusskiktet som konsumerats i branden (Van Wagner 1983, Schimmel & Granström 1996). För att få en så täckande bild som möjligt av den glödande förbränningen är det bra att beakta även de ovanjordiska delarnas förbränning, t.ex. genom en deskriptiv klassificering av brandens skada på växtligheten i fält- och bottenskiktet (Ryan 2002).

Bränsletypen, dess mängd och torrhetsgrad, topografi, vindstyrka och andra väderförhållanden under branden är faktorer som inverkar på brandintensiteten. Glödande förbränning i sin tur är i högre grad beroende av markens och det marknära bränslets fuktighetsgrad (Chandler m. fl. 1983, Miyanishi & Johnson 2002). Under en bränning bildas ofta i marken omedelbart under eldzonen en s. k. ”svettningss-” eller kondensationszon som hindrar elden från att tränga ner i humustäcket (Uggla 1957). Vattenången måste först avdunsta innan elden kan fortsätta konsumera humuslagret. Schimmel och Granström (1996) kom också fram till att ökad bränslemängd medförde ökad glödande förbränning. Olika bränslen och bränsletyper, bl.a. olika humustyper (Kaunisto 1965) och mossor (Tanskanen 2001), har konstaterats torka olika snabbt och därmed skilja sig i fråga om fuktegenskaper. Förnaskiktets och humusens kemiska och fysikaliska sammansättning, struktur och nedbrytningsgrad inverkar på humuslagrets fuktighet (Nelson 2001).

Inverkan av bränslets fukthalt på förbränningen har beskrivits av bl.a. Byram (1959). Vid den process som förklarar hur fukthalten inverkar på ett bränsles förbränning frigörs vattenånga från bränslet till den omgivande luften. Vattenången frigörs från bränslet med ett visst tryck. Summan av trycket hos alla de gaser (vattenånga, syre, kväve, koldioxid) som omger bränslet är alltid lika stor som det atmosfäriska trycket. Om bränslet innehåller mycket fukt kommer den vattenånga som avges från bränslet att ha ett högt tryck, vilket leder till att den mängd andra gaser som ryms i skiktet runt bränslet är liten. Eftersom det inte är vattenånga, utan andra gaser som brinner, kommer förbränning inte att kunna ske om det tryck som finns runt bränslet helt eller nästan helt är upptaget av vattenången. Efter att en del vattenånga har avdunstat kan bränslets fukthalt och därmed trycket hos den ånga som frigörs ha sjunkit såpass mycket att andra gaser ryms in i det närmaste skiktet och förbränning kan ske.

2.2. Faktorer som påverkar brandresultatet

De viktigaste faktorerna som påverkar en brand är: bränsle, väder, klimat, topografi och vegetationstyp (Johnson & Miyanishi 2001). Klimatet inverkar på skogsbränder främst på två sätt; genom att bestämma längden på den period på året då bränder potentiellt är möjliga och genom inverkan på mängden bränsle på ett visst område (Chandler m. fl. 1983). Klimatet influerar även brandfrekvensen genom variationer i nederbörd och blixtnedslag

(Ryan 2002). Detta illustreras t.ex. genom de markanta skillnaderna i bl.a. antändningskänslighet och brandfrekvens mellan skogar vid Medelhavet och i Norden. Väderförhållanden före och under branden inverkar på brandbeteendet. Flannigan och Harrington (1988), som har undersökt väderförhållandenas inverkan på de naturliga skogsbrändernas omfattning i Kanada, kom fram till att sannolikheten för brand var mer beroende av hur ofta det regnade, temperatur och relativ luftfuktighet än hur stor nederbörden var mängdmässigt sammanlagt under en viss tidsperiod.

Vädret före branden inverkar på bränslets torrhetsgrad och under själva brandtillfället har speciellt vindstyrkan en betydande roll (Van Wagner 1983). Vinden tillför elden syre och står därmed i direkt förbindelse till brandens intensitet och lågornas höjd (Byram 1959). Lufttemperaturen är en av de faktorer som kontrollerar bränslets temperatur och därmed antändningskänslighet samt dess förbränningstid. Lufttemperaturen reglerar också luftfuktigheten (Krumm 1959, Chandler m. fl. 1983).

I fråga om topografin har det konstaterats att branden i en sluttning sprids med högre hastighet uppåt än nedåt (Van Wagner 1988) och att sydsluttningar brinner betydligt oftare än nordsluttningar (Zackrisson 1977). Vegetationstypen är funktioner av klimat, topografi, jordmån och jordart. Även vegetationstypen har en inverkan på hur ofta bränder uppkommer och hur storskaliga de är; stora myrområden kan t.ex. fungera som brandhinder (Engelmark 1987).

2.2.1. Bottenskiktet vid brand

Bottenskiktet i vårt lands moskogar utgörs mängdmässigt till största delen av *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* och *Dicranum* spp. (Tuomikoski 1948). Dessa mossor skiljer sig från varandra bl.a. i fråga om morfologi och växtplatspreferenser. I fråga om vattenhushållningen har vissa arter av *Dicranum* rhizoider på stammen, som bidrar till att både ta upp och hålla kvar fukt (Buch 1945, 1947). *Hylocomium splendens* igen har fjällrika stamblad och små hårlika utskott, parafyllier, på stammen. Dessa bildar tillsammans ett "kapillärsystem" som effektivt transporterar vatten från marken (Buch 1945, 1947) och håller mossan fuktig. I fråga om växtplatsen är *Hylocomium splendens* en mer skuggälskande art än *Pleurozium schreberi* och *Dicranum* spp. (Tuomikoski 1948). *Pleurozium schreberi* har av Tanskanen (2001) konstaterats torka snabbare än *Dicranum*

spp. Detta förklaras troligen bl.a. av ovanstående skillnader i anatomi och morfologi. I förlängningen betyder detta att *Dicranum* spp. är fuktigare än *Pleurozium schreberi* i naturliga förhållanden och därför kunde tänkas brinna sämre. Detta har även styrkts av personliga observationer vid bränder och brandförsök (Anders Granström, Umeå, muntl. uppg., Heidi Tanskanen, muntl. uppg.).

2.2.2. Fältskiktet vid brand

Olika växters anpassning till och succession efter skogsbränder i den boreala zonen har undersökts av flera forskare (se t.ex. Rowe 1983 för sammanfattning). De olika växtarternas medverkan till antändningskänslighet och skogsbrandens intensitet i boreala skogar är däremot fortfarande till stora delar oklar. Det finns alltså inte några lika klara uppfattningar rörande olika i vårt land allmänna fältskikts arters förväntade brandkänslighet som för bottenskiktets del. Sylvester och Wein (1981) har undersökt några nordamerikanska arters brandkänslighet. I deras undersökning visade sig bladegenskaperna vara avgörande för växternas bränslepotential. Döda blad från gräs brann bäst, av de levande växterna brann städsegröna ris såsom *Empetrum nigrum* bäst, därefter placerade sig ris som *Vaccinium uliginosum* och sist örter såsom *Epilobium angustifolium*.

2.2.3 Trädskiktet vid brand

Då skogen brinner i vårt land uppstår sällan kronbrand vilket betyder att alla träd sällan dör direkt i branden. I en naturligt brunnen skog finns därför fortfarande ett betydande bestånd av stående träd som fungerar som skydd mot alltför stark instrålning (Zackrisson & Östlund 1991). För såväl botten- och fältskiktet som det uppväxande buskskiktet är denna beskuggning viktig. Av de stående träden har många skadats så mycket av elden att de mycket snart efter branden tappar merparten av sina barr och så småningom dör och faller till marken. Av våra trädslag är *Picea abies* och *Betula* spp. de mest brandkänsliga; i en undersökning fann Kolström och Kellomäki (1993) att endast några procent av granarna och björkarna levde ett år efter branden på området de undersökte, medan ca 20 procent av *Pinus sylvestris* var vid liv.

2.3. Succession efter branden

2.3.1. Fältskiktets succession

Olika klassificeringar av växtarter har gjorts på basen av hur de klarar sig i en miljö med återkommande skogsbränder, bland annat i syfte att utreda deras funktion under och i successionen efter en skogsbrand. Klassificeringarna grundar sig främst på växternas livsform, reproduktionssätt och konkurrensstrategi (Rowe 1983). Essentiellt för växternas anpassningssätt till skogsbrand är huruvida de förökar sig främst genom vegetativ förökning (t.ex. jordstammar) eller genom frön samt dessa förökningsorgans placering i/på marken och växternas förmåga att sprida sig genom dem.

Fältskiktets succession efter en brand beror till stor del på två faktorer: 1) hur intensiv branden och 2) den glödande förbränningen varit. Dessa inverkar på hur stor del av växternas i marken levande meristem och hur mycket av fröbanken som överlever branden. I en brand med låg intensitet och skadlighet kan risens och gräsens jordstammar klara sig, och om jordstammarna fortfarande är livskraftiga efter branden kan de snabbt utnyttja den konkurrensfria situation som uppstår och starta en kolonisation direkt (Sarvas 1937, Ugglå 1958). Schimmel (1993) har konstaterat att bestånden av *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea* och *Deschampsia flexuosa* uppnår samma abundans som före branden då 20-30 år gått sedan en lågintensiv brand i *Myrtillus*-typs granskog. Ugglå (1958), som undersökt olika brandfält i norra Sverige, rapporterar en stor variation i successionen av dessa arter mellan brandfälten beroende på hur mycket av växternas jordstammar som förstörts. På de fält där jordstammarna överlevt konstaterade han att det för *Vaccinium myrtillus* tog ca 10 och för *Vaccinium vitis-idaea* 24-37 år att nå samma abundans som före brand.

Av de tre ovan nämnda arterna konstaterades *Deschampsia flexuosa* ha jordstammarna belägna högre upp i marken än *Vaccinium myrtillus* och *Vaccinium vitis-idaea*, t.o.m. i mosskiktet, och därför skadades den lättare än de två risen vid brandförsök (Schimmel & Granström 1996). Även *Maianthemum bifolium* hör till *Myrtillus*-typens allmänna arter som förökar sig vegetativt med jordstam (Jauhiainen 1985).

Vid en brand med hög intensitet och glödande förbränning skadas jordstammarna och den konkurrensfria situationen utnyttjas av arter som finns i fröbanken eller sprids lätt med frön. Till de sistnämnda hör bl.a. *Epilobium angustifolium*, *Rubus idaeus* och *Solidago virgaurea* (Sarvas 1937, Ugglå 1958, Schimmel 1993). Sarvas (1937), som undersökte

hyggesbrända ytor i norra Finland, observerade att växtligheten som utvecklas efter branden är tydligt mosaikartad. Den består alltså av fläckar med olika karaktärsväxter, något som tolkas ha samband med hur svårt marken på dessa fläckar skadats i branden.

Då solen skiner på bränd, svart mark, kan temperaturerna stiga till över 60 grader (Smith & James 1978). Detta har konstaterats vara en gräns för jordstammars överlevnad (Schimmel & Granström 1993) och jordstammar som kanske har överlevt branden kan även i detta skede skadas.

2.3.2. Bottenskiktets succession

För bottenskiktets succession verkar brandens intensitet och den glödande förbränningen ha mindre betydelse än för fältskiktet, eftersom största delen av mossorna förstörs totalt i de flesta bränder och nykolisationen till stor del sker med sporer utifrån (Pharo m.fl. 1999). Pionjärarter, såsom *Ceratodon purpureus* (Hallingbäck & Holmåsen 1995:23), *Polytrichum commune* och *Polytrichum juniperinum* bildar ofta det första successionsstadiet efter brand (Uggla 1958, Sarvas 1937, Ahonen 2000). De två sistnämnda kan börja växa från lindrigt skadade, basala delar från individer av arten som vuxit på ytan före brand (Sarvas 1937, Anders Granström, muntl. uppg.), men sprids också lätt via sporer. Övriga i det första successionsstadiet vanliga mossor är *Pohlia nutans*, *Funaria hygrometrica* och *Marchantia polymorpha* (Hallingbäck & Holmåsen 1995:141).

Moskogsmossorna, t.ex. *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* och *Dicranum* spp., hör till de arter som oftast förstörs nästan helt i branden (Sarvas 1937, Uggla 1958). Vid lindrig brandskada har av dessa arter åtminstone *Hylocomium splendens* rapporterats kunna börja växa igen från lindrigt skadade, basala delar (Schimmel & Granström 1996).

För mossornas del begränsas artsammansättningen i det första successionsstadiet på bränd mark bl.a. av höga halter av vattenlösligt kalium och magnesium i askan (Hallingbäck & Holmåsen 1995). Dessa ämnens koncentration kan för vissa arter vara giftigt.

Det första successionsstadiet med pionjärarter ersätts så småningom, i takt med att även fält-, busk- och trädskiktet utvecklas, med de skuggtåligare arter som varit allmänna i skogen före brand, såsom *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* och *Dicranum* spp..

Dessa har konstaterats börja etablera sig igen ca 30-40 år efter branden (Sarvas 1937, Uggla 1958).

2.3.3. Trädskiktets succession

Trädarter förökar sig mycket sällan från frön i fröbanken (Harper 1977) och trädplantornas etablering efter brand sker därför i huvudsak med hjälp av fröspridning från levande träd (Vanha-Majamaa m.fl. 1996). Träd som överlevt branden och kan fungera som fröträd har visat sig ha stor betydelse för den uppväxande trädgenerationen (Uggla 1958, Schimmel 1993). I den typ av granskog som behandlas i denna undersökning är det vanligt att lövträd såsom *Betula* spp. och *Populus tremula* bildar den efter branden påföljande första trädgenerationen. Schimmels (1993) undersökning visar att trädplantornas etableringsframgång hos såväl *Picea abies*, *Pinus sylvestris* som *Betula* spp. är större på mark där brandskadan är stor. På grund av krav på ett gynnsammare mikroklimat är överlevnaden hos plantor av barrträd och speciellt *Picea abies* är dock inte lika stor vilket förklarar lövträdsdominansen i de första successionsstadierna (Uggla 1958, Vanha-Majamaa m. fl. 1996). Plantor av *Pinus sylvestris* som gror nära fallna träd på brandytor klarar sig t.ex. bättre än de som gror exponerat en bit ifrån (Uggla 1958).

Picea abies etablerar sig så småningom i skuggan under lövträden, och klarar sig i lövskogen tack vare sin skuggtålighet. Den kommer att utgöra merparten av trädbeståndet sedan lövträden dött och fallit till marken (Sirén 1955, Engelmark & Hytteborn 1999). Även i andra skogar dominerar lövträden i initialskedet efter en skogsbrand.

3. UNDERSÖKNINGEN OCH DESS FRÅGESTÄLLNING

3.1 Presentation av forskningsprojektet

Forskningsprojektet ”Fire Implications in Restoration Ecology” (FIRE) startade vid Helsingfors universitet, institutionen för skogsekologi, år 2001. Tanken bakom projektet är att utföra en pilotundersökning av skogsvårds- och restaureringsmetoder, som innefattar bränning och skapande av döende ved. Man vill ta fram metoder som tar hänsyn till både naturen och skogsägaren genom att skapa en skog med naturligare struktur än den som ekonomiskogen hyser, men ändå tillåta relativt stort virkesuttag. Utgående från de

ekologiska grundfakta om skogsbrand och hyggesbränning som finns vill man ur ett tillämpande perspektiv utröna olika restaureringsmetoder. Tanken är att resultaten ska kunna användas t.ex. vid utvecklandet av restaureringsmetoder för skogsskyddsområden. Restaurering av skogsskyddsområden är ett mycket aktuellt tema i Finland för tillfället och Forststyrelsen har inlett planering och utförande av skogsrestaurering på statliga skyddsområden.

De bränningsbehandlingar som genomförs har jag valt att kalla naturvårdsbränningar, eftersom begreppet restaurering fortfarande är relativt nytt och inte enhetligt definierat. Naturvårdsbränning beskriver enligt mig mer entydigt den verksamhet som avses i detta projekt.

Detta forskningsprojekt sammanför forskning om restaurering med brandekologi och biologi. Brandekologi är ett område där en hel del undresökningar gjorts tidigare; publikationer finns bl.a. från Sverige (t.ex. Ugglå 1958, Granström 1991, Schimmel 1993). I Finland har hyggesbränningens effekter och successionen på brandytor studerats av bl.a. Sarvas (1937), Viro (1969), Hægström (1973), Vasander & Lindholm (1985), Vanha-Majamaa m. fl. (1996) och Ahonen (2000).

Skogsekologisk forskning med anknytning till brand/bränning pågår för tillfället i vårt land, vid Joensuu universitet inom det av prof. Jari Kouki ledda forskningsteamet Biodiversity of Forest Ecosystems. Vid Jyväskylä universitet undersöks brandgynnade insekter.

3.2 Målsättningar och frågeställningar

Målsättningen med mitt pro gradu-arbete är att undersöka och förklara brandresultatet i experimentets naturvårdsbränningar. Brandresultatet mäts på två olika sätt: som humuslagrets förbrukning i branden (avspeglar glödande förbränning) och procentuell fördelning av brandskadeklasser i fält- och bottenskiktet (avspeglar brandens intensitet samt glödande förbränning). Som förklarande faktorer används mängden bränsle, humusens fuktighetsgrad och växtlighetens sammansättning. Jag försöker förstå de olika delområdenas funktion vid branden och undersöker om och hur de olika behandlingarna skiljer sig från varandra. Brandresultatet är jag intresserad av eftersom det har stor betydelse för växtlighetens succession efter branden. Bränslet anses i detta arbete bestå av följande

komponenter: mängden fällda träd, mängden hyggesrester, undervegetationen i sin helhet samt humuslagret.

Undersökningens frågeställningar och hypoteser:

- **Fråga 1:**

Hur inverkar mängden hyggesrester samt på marken liggande träd (långor) på brandens resultat mätt som graden av skada på undervegetationen samt humuslagrets minskning?

Hypotes 1:

Ökad mängd hyggesrester samt långor ökar brandens styrka, vilket syns i brandresultatet mätt som graden av skada på undervegetationen samt humuslagrets minskning.

Variabler som förklaras:

- humuslagrets konsumtion (mm)
- procentuella fördelningen av brandskadeklasser i fält- och bottenskiktets växtlighetsrutor.

Förklarande variabler:

- mängden hyggesrester
- mängden fällda träd

- **Fråga 2:**

Hurdant är sambandet mellan humuslagrets fuktighetsgrad och konsumtionen av humuslagret vid branden?

Hypotes 2:

Ju högre fuktighetsgrad humuslagret har, desto mindre del av humuslagret konsumeras i branden.

Variabler som förklaras:

- humuslagrets konsumtion (mm)

Förklarande variabler:

- humuslagrets fuktighetsprocent

- **Fråga 3:**

a) Har mosstäckets sammansättning på de brända ytorna något samband med brandresultatet, mätt som humuslagrets minskning? Arter som undersöks: *Dicranum* spp., *Hylocomium splendens* och *Pleurozium schreberi*.

- b) Har fältskiktets sammansättning på de brända ytorna något samband med brandresultatet, mätt som mosstäckets minskning? Arter som undersöks: *Deschampsia flexuosa*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus* och *V. vitis-idaea*.

Hypotes 3:

- a) Mosstäckets sammansättning inverkar på brandresultatet så att ytor där *Hylocomium splendens* och *Pleurozium schreberi* är allmännare uppvisar större brandskada
- b) Fältskiktets sammansättning påverkar brandresultatet så att brandskadan är gradvis större på ytor där den procentuella täckningsgraden av *V. vitis-idaea* > *Vaccinium myrtillus* > *Maianthemum bifolium* > *Deschampsia flexuosa*

Variabler som förklaras:

- a) - humuslagrets konsumtion (mm)
- procentuella fördelningen av brandskadeklasser i fält- och bottenskiktets växtlighetsrutor.
- b) – mosstäckets minskning (mm)

Förklarande variabler:

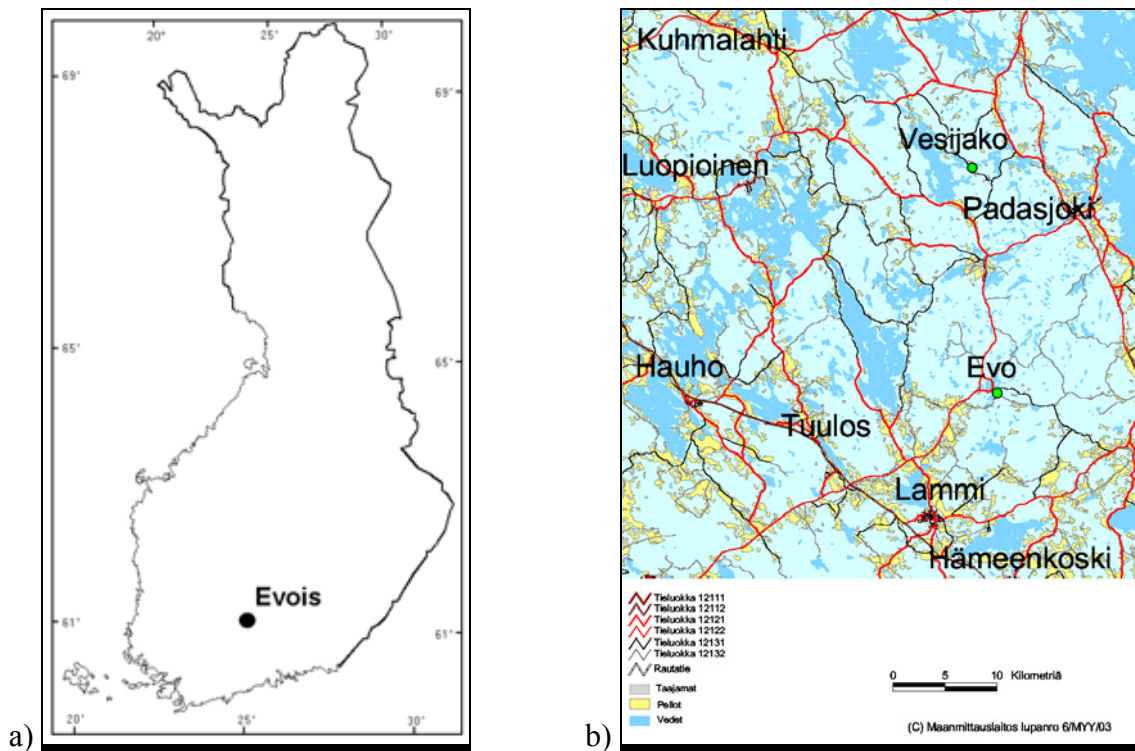
- a) - procentuella täckningsgrader före brand för *Dicranum* spp., *Hylocomium splendens* och *Pleurozium schreberi*
- b) - procentuella täckningsgrader före brand för *Deschampsia flexuosa*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus* och *V. vitis-idaea*

4. MATERIAL OCH METODER

4.1 Undersökningsområdet

Undersökningsområdet ligger i den sydboreala zonen (Ahti m.fl. 1968) i Tavastland, närmare bestämt i Evois i Lammi kommun och Vesijako i Padasjoki kommun (figur 1). Vid uppläggnen av experimentet strävade man efter att finna provbestånd som var så lika varandra som möjligt. Man sökte efter avverkningsmogna grandominerade bestånd, i första hand av *Myrtillus* (MT)-typ (Cajander 1929) där en viss variation i fukighetsförhållanden stod att finna. De bestånd som ingår i experimentet var 60 – 101 år gamla (tabell 1).

Minimistorleken på bestånd som beaktades var 2 ha, och formen skulle vara sådan att smalt rektangulära bestånd inte medtogs.



Figur 1 Karta över undersökningsområdets läge (a). Provytorna fördelade sig så att 10 st fanns i området runt Evois (Evo) och 2 st i närheten av Vesijako (b).

Detta projekt är ett samarbete med fem olika markägare, Forststyrelsen, Skogsforskningsinstitutet (METLA), Tavastehus stad, Hämeen ammattikorkeakoulu i Evois samt UPM-Kymmene, på vars marker provytorna finns. Detaljerad information om den slutliga sammansättningen av provytorna finns i tabell 1.

Medelårsnederbörden på den närmast undersökningsområdet liggande väderobservationsstationen, Veistola i Lammi kommun, var för åren 1970-1990 673,8 mm. Årsmedeltemperaturen var under samma tidsperiod +3,1°C (Vesijaon 1995). Ett på en längre observationsperiod baserat medeltal för värmsumman i regionen finns från Laune i Lahtis kommun och är 1273 dygnsgrader. Den termiska vegetationsperiodens längd för Vesijako-området är ca 160 dagar (Vesijaon 1995).

Trakterna kring Evois låg istäckta under Baltiska issjöns tid och befriades från istäcktet efter 8213 f. Kr. Då inlandsisen smälte bort bildades rand-deltan, moränkullar och låga slingrande åsar (Okko 1972). Detta har lett till att trakterna kring Evois och Vesijako till största delen är ställvis mycket blockrika moränmarker. Stenigheten på varje provyta (tabell 1) uträknades med hjälp av en metod utvecklad av Viro (1952). Metoden går ut på att försöka trycka ner en 10 mm tjock metallstång till 30 cm djup i mineraljorden. Hur djupt stången gick att trycka ner registrerades på 16 ställen på varje provyta och det organiska

Tabell 1. Information om trädbeståndet och dess struktur på provytorna

Mängden fällda träd (m ³)	Yta nr.	Trädbest. medel- ålder	Trädens medel- diam.(cm)	Trädens medel- längd (m)	Träd före hygge m ³ /ha	Andel löv- träd %	Koordi- nater (ykJ)	Hygges- datum	Stenig- het vol.%
5 m ³	301	100	27	24	263,2	14	67951: 34056	1.2- 28.2.2002	64,6
5 m ³	165	100	26	23	179,6	0	67958: 34066	1.2- 28.2.2002	46,5
5 m ³	250	90	25	21	182,8	5	67987: 34020	11.3.2002	64,2
30 m ³	85	100	28	25	277,3	1	6798(2-):3: 34059	1.2- 28.2.2002	54,8
30 m ³	41	61	19	18	292,9	8	68094: 33975	12.- 15.3.2002	48
30 m ³	203	71	24	17,9	228,6	3	67901: 34009	22.1- 19.2.2002	38,4
60 m ³	205	60	19	15,7	174,6	0	68141: 33944	18.- 22.3.2002	54,2
60 m ³	55	83	27	21,7	170,5	3	67895: 33965	22.1- 4.3.2002	41,4
60 m ³	327	101	25	21,1	243,5	2	67969(- 70): 34004	6.3.2002	60,5
kontroll	334	75	33	26	256,8	0	67908: 33940	-	51,7
kontroll	226	90	23	21,1	204,5	1	67900: 34006-7	-	46,5
kontroll	56	66	22	18,1	167,8	2	67904(-5): 34007	-	40,4

markskiktets tjocklek subtraherades från mätresultatet. Stenigheten (volymen av stenar med diametern > 2 cm) uträknades sedan med hjälp av en ur Viros (1952) data uträknad empirisk formel (Tamminen 1991): stenighets-% = 83 - 2,75 × stångens medeldjup (cm).

Vesijako och Evois är områden där mänsklig bosättning etablerade sig relativt tidigt. På de av Skogsforskningsinstitutet ägda markerna i Vesijako har resterna av en stenåldersboplats hittats och det äldsta torpet är registrerat redan år 1797. Det finns även dokumenterat att de i området bosatta människorna aktivt har utövat svedjebränning. Den sista svedjan som finns registrerad för Vesijako-området brändes år 1924-1925 (Vesijaon 1995). De skogar som ingår i denna undersökning, har uppkommit efter den intensiva svedjebränningsperiodens slut.

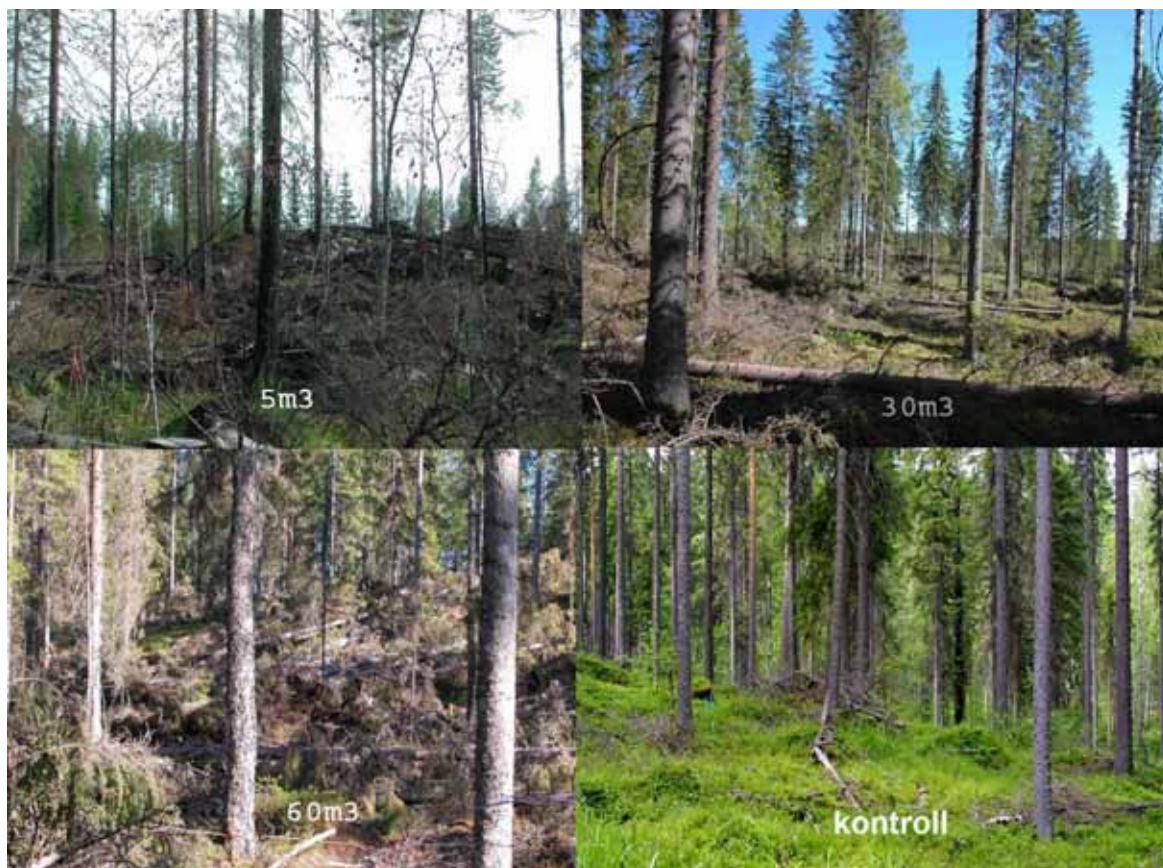
4.2 Experimentet

4.2.1 Experimentuppläggnin

Experimentuppläggnin, som grundades sommaren 2001, innefattar 12 skogsbestånd på 1-2 ha vardera. På den slutliga storleken inverkade de omgivande områdenas brandkänslighet och markägarnas åsikter. I varje skogsbestånd har två provytor på 20 m × 40 m slumpmässigt utplacerats, en i en fuktigare del av beståndet och en i en torrare. I detta arbete behandlar jag dock endast de provytor som placerades på torra biotoper, inget data som insamlats från de fuktiga områdena har använts. Runt den egentliga provytan grundades en 5 m bred buffertzoon som främst användes vid insamling av fakta om trädbeståndet. Provytorna utvaldes och mättes under våren och sommaren 2001. Mätningar och insamling av data gjordes både år 2001 och 2002, före och efter experimentbehandlingarna.

4.2.2 Brand- och hyggesbehandlingar

I de utvalda skogsbestånden genomfördes en rad experimentbehandlingar (figur 2, figur 3). Gemensamt för dem alla var att den del av bestånden som ingick i experimenten höggs så att 60 m³/ha stående träd lämnades, vilket motsvarar granens skärmställning vid naturlig förnygring (Tapio 2002:237). På de huggna ytorna lämnades fällda träd i tre volymklasser (5, 30 och 60 m³/ha exklusive grenar och andra hyggesrester). Man ville så att säga gå händelserna litet i förväg för att snabbt kunna skapa ett skogsområde med mera naturlig struktur än vad fallet är i ekonomiskogar i allmänhet. I granskogar i naturtillstånd i södra Finland har mängden död ved uppskattats till t.o.m. 100 m³ och i norra Finland till 50 – 80 m³ (Siitonen 1998). I ekonomiskogar i södra delen av Finland är mängden död ved i medeltal endast 2,44 m³ (Tonteri & Siitonen 2001).



Figur 2. De olika hyggesbehandlingarna före brand. De avbildade provytorna är: 5 m^3 = yta nr. 85, 30 m^3 = yta nr. 203, 60 m^3 = yta nr. 55 och kontrollyta nr. 250. Foto: 5 m^3 , 30 m^3 och 60 m^3 -bilderna Saara Lilja, kontrollbilden Erkki Oksanen.

Samtliga ytor brändes under perioden 5.6 - 8.8.2002. Varje behandlingskombination upprepades tre gånger. Förutom hyggesbehandlingarna ingår också tre kontrollbestånd, dvs. ytor som inte överhuvudtaget höggs, i experimentuppläggnen.

På basen av de uppgifter som insamlats om trädbestånden utvaldes med hjälp av ett datorprogram slumpmässigt de träd som skulle fällas, föras bort eller lämnas kvar på provytorna. I detta urvalsförfarande prioriterades alltså inga speciella träslag eller grovlekar på stammarna med eftersom trädbeståndets storleksfördelning även i en naturlig skog konstaterats vara slumpmässig (Kuuluvainen m. fl. 1996, 1998).

Databaserade skogstämplingskartor uppgjordes och själva stämplingen utfördes med yxhugg på två motsatta sidor av trädet. De träd som skulle fällas och borttransporteras märktes med ett yxhugg, de träd som skulle fällas men lämnades kvar märktes med två yxhugg. De träd som skulle förbli stående lämnades omärkta.

Hyggerna utfördes med skogsbruksmaskin, maskinen körde dock inte in på provytorna. Provytorna höggs först och med dem som modell resten av beståndet. De träd som fälldes för att ligga kvar fälldes därefter för hand i planlösa, på förhand icke bestämda

riktningar. Alla hyggesrester lämnades kvar på hyggena och spreds så jämnt som möjligt ut över ytan.

Runt de ytor som brändes högs först en 20-30 (i vissa fall upp till 50) m bred brandgata. Brandgatans bredd bestämdes av de omgivande områdenas brandkänslighet och markägarnas åsikter. Brandgatan rensades från hyggesrester som flyttades in på ytan. Längs brandgatans mitt blottades mineraljorden på en ca 1-2 m bred brandgång med hjälp av grävmaskin. Den blottade mineraljorden i brandgångarna brinner inte och hindrar därmed elden från att sprida sig längs marken utanför området som bränns (Lemberg & Puttonen 2002).



Figur 3. De olika hyggesbehandlingarna efter brand. De avbildade provytorna är: 5m^3 = yta nr. 165, 30m^3 = yta nr. 41, 60m^3 = yta nr. 327 och kontroll yta nr. 56. Foto: Saara Lilja.

Bränningen genomfördes enligt gammal finländsk hyggesbränningsteknik (Kolehmainen 1951) både av säkerhetsskäl och på grund av att personalen som utförde naturvårdsbränningarna hade mest erfarenhet av denna teknik. Bränningen gick till på följande sätt: Två personer fungerade som ”antändare”. Antändningen skedde i den borte av de två punkter på ytan som låg i vindens riktning. Därefter fortskred antändningen längs ytans kanter åt varsitt håll från antändningspunkten. De två antändarna möttes i rakt motsatt ända från antändningspunkten, dvs. i medvind igen. Elden spred sig in mot mitten och

branden blev som intensivast då de olika fronterna, som avancerade mot mitten av ytan, möttes.

Exakt antändningstidpunkt bestämdes av brännmästaren. På grund av dagg och fukt i luften om morgnarna antändes dock alla ytor på eftermiddagen, mellan kl. 12.36 och 17.25 (tabell 2). Under brandtillfället insamlades också uppgifter om vindens styrka och riktning, luftfuktighet på 1,3 m höjd ovanför marken (tabell 2) och brandutvecklingen beskrevs (t.ex. vid hur många tillfällen och vilka tidpunkter branden steg till kronbrand).

Tabell 2. Uppgifter om branddatum, brandens varaktighet, antändningstidpunkt samt väderförhållanden under branden i medeltal per provbestånd.

Mängden fällda träd	Yta nr.	Brand- datum	Antändn. kl.	Varaktighet (h, min)	Luft- fuktigh.%	Vind- hastigh. (m/s)	Luft- temp. (°C)
5 m ³	301	16.7.02	15.23	2,23	28,67	1,09	28,86
5 m ³	165	16.7.02	13.02	1,30	34,78	1,66	26,06
5 m ³	250	18.7.02	16.45	2,00	33,29	0,85	27,93
30 m ³	85	7.6.02	15.35	2,00	30,18	0,22	26,90
30 m ³	41	11.6.02	14.10	2,10	33,64	1,34	26,59
30 m ³	203	5.6.02	17.00	2,00	31,50	0,90	21,50
60 m ³	205	7.8.02	14.20	2,00	33,78	0,64	24,50
60 m ³	55	15.7.02	15.00	2,19	31,15	1,21	27,15
60 m ³	327	18.7.02	12.36	2,12	28,75	1,14	28,94
kontroll	334	8.8.02	15.00	1,50	39,45	0,19	25,07
kontroll	226	11.6.02	15.00	2,00	34,39	0,33	24,93
kontroll	56	6.6.02	17.25	2,05	29,93	1,14	26,50

4.3 Sampel och mätningar

4.3.1 Växtligheten och dess grad av förstörelse

Nomenklaturen i detta arbete följer för kärlväxternas del Hämet-Ahti m. fl. (1998) och för mossornas del Hallingbäck & Holmåsen (1995).

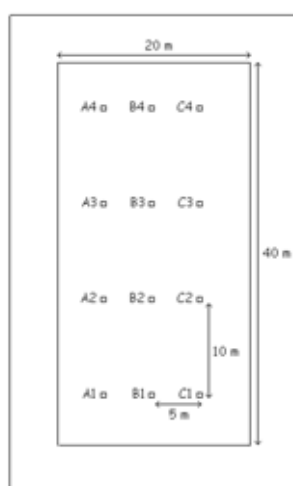
a) Sommaren 2001

För att undersöka växtlighetens sammansättning och dess förändringar i och med behandlingarna grundades tolv st. 50 cm × 50 cm rutor inne i provytan. Växtlighetsrutorna märktes ut i terrängen med en järnpinne i varje hörn, så att det skulle vara möjligt att efter

behandlingarna hitta rutorna och därmed insamla och jämföra uppgifter från exakt samma ställe. Rutorna placerades ut systematiskt och namngavs (figur 4). I varje ruta uppskattades den procentuella täckningsgraden med en procents noggrannhet för alla växtarter i fält- och bottenskiktet samt för andelen stubbe, trädförna, barr, bladförna, mineraljord, sten(ar), död mossa samt pinnar vars diameter var större än ca 0,5 cm.

För analys av fältskiktets inverkan på brandresultatet valdes fyra arter för närmare undersökning: *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Deschampsia flexuosa* och *Maianthemum bifolium*.

Täckningsgrad och delrutefrekvens insamlades för alla provytor under juli och augusti år 2001 av en grupp på fyra personer: FM Saara Lilja, FM Riitta Ryömä, fil. stud. Carina Järvinen och fil. stud. Olli Ojala. För att resultaten från täckningsgradsanalysen skulle bli så tillförlitliga som möjligt gjorde gruppen en kalibrering av uppfattningen om täckningsgrader innan själva analysarbetet inleddes. Kalibreringen gick till så att alla fyra först analyserade några rutor enskilt, därefter jämfördes resultaten, de diskuterades och man enades om ett visst resultat. I detta skede gjordes även regler och definitioner upp för hur uppskattningarna för t.ex. förna, död mossa osv. skulle göras. Förutom täckningsgrad och delrutefrekvens från 50 cm × 50 cm rutorna registrerades även alla de botten- och fältskiktets arter som förekom inom 20 m × 40 m provytan men som inte råkade växa inom en liten ruta.



Figur 4. Schematisk bild av provytan. Rutorna märkta med bokstavs/sifferkombinationer markerar 50 cm × 50 cm-växtlighetsrutor.

b) Sommaren 2002

Efter att hygges- och brandbehandlingarna genomförts upprepades täckningsgrads- och delruteffrekvensanalyserna på kontroll- och hyggesytorna. För att kunna analysera de brända ytorna infördes en brandskadeklassificering (tabell 3 och 4). Täckningsgraderna för de olika klasserna i fält- och bottenskiktet uppskattades. Delruteffrekvensdata insamlades med hjälp av ett 10 × 10 cm-rutors rutsystem som placerades ovanpå 50 cm × 50 cm-rutorna. För varje delruta angavs den dominerande brandskadeklassen. Om några växter hade skjutit upp skott eller hjärtblad angavs även deras placering i rutan.

4.3.2 Mängden bränsle

Under våren 2002 mättes mängden bränsle, dvs. kvistar, stammar och hyggesrester, på de 9 hyggesbehandlade ytorna som senare brändes. Hyggesrester mättes inte på kontrollytorna, eftersom där i praktiken inte fanns några. Mätningarna gjordes på varje provyta vid växtlighetsruta A1-A4 och C1-C4. På grund av begränsade resurser gjordes mätningarna inte vid B1-B4. Metoden som användes baserar sig på McRae m.fl. (1979). Som hjälpmedel användes två 1 m långa käppar, som lades i kors över växtlighetsrutorna för att markera en 1 m² kvadrat. Därefter mättes diametern på alla mer än 1 cm tjocka kvistar som korsade käpparna och barrträd och lövträd klassificerades skilt. Ett mått på mängden hyggesrester per provbestånd erhöles genom att summera ihop kvistarnas diametrar. I denna summering beaktades endast de kvistar vars diameter var mindre än 10 cm. Rutans position i förhållande till trädstammar/-kronor osv. noterades också, men dessa uppgifter har inte använts i detta arbete.

Med hjälp av en 2 m lång käpp mättes också tjockleken på lagret av hyggesrester inom den 1 m² stora rutan. Även antal, diameter och höjd på ev. stubbar som fanns inne i rutan eller som angränsade till den antecknades.

4.3.3 Brandens inverkan på humuslagrets tjocklek

För att få en bild av hur intensiv branden varit och därmed också hur allvarligt detta störningsmoment varit undersöktes huruvida humuslagret förstördes i branden och i så fall

hur mycket. Som hjälpmedel användes ca 20 cm långa metallpinnar, som böjdes så att det bildades en vågrät ”öglan” på mitten och pinnarna hade formen av bokstaven T vänd på sidan. Pinnarna stacks före branden ned i marken vid växtlighetsrutorna A1-A4 och C1-C4 så att den vågräta öglan markerade humusskiktets övre gräns. Metoden har tidigare använts av bl. a. Wikars & Schimmel (2001). Mosstäcket tjocklek mättes vid varje pinne. Vid varje ruta stacks fyra pinnar ned, tre av dem där mosstöcket dominerades av respektive *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* och *Dicranum* spp. och den fjärde vid någon av de ovannämnda eller ett blandbestånd. På varje pinne markerades vilken mossart som dominerade på det stället. Om inga lämpliga rena bestånd av respektive arter fanns närmare än 1 m från provytans yttre kant användes blandbestånd och detta markerades även på pinnen. Efter branden mättes med linjal hur många mm ovanför den brända ytan den böjda öglan fanns, dvs. hur många mm av humuslagret som hade förstörts i branden. Om en del av mosstöcket fanns kvar mättes även dess tjocklek.

Det material som insamlats med hjälp av metallpinnarna uppdelades sedermera i två delar. I den ena ingår minskningen från de pinnar där faktiskt en del av humuslagret förbrukats i branden, medan övriga mätpunkter markerats med 0 (ingen förbrukning).

Den andra delen av materialet består av uppgifter för mosstöcket. Alla pinnar beaktades; de där branden förbrukat hela samt endast en del av mosstöcket eller där det inte brunnit alls. Ur denna del av materialet räknades ut hur många millimeter av mosstöcket som förbrukats i medeltal per behandlingskategori.

4.3.4 Brandskadeklasser

För att uppskatta brandresultatet och graden av den skada branden förorsakat på mark- och växtlighetsnivå infördes ett brandskadeklassificeringssystem för botten- och fältskikten (tabell 3 och 4). De brandskadeklasser som här användes har i liknande form använts av Tolonen m.fl. (1994) för uppskattandet av brandskada på skogsbrandfält i Kitsi, Finland. Den procentuella andelen för de olika klasserna i alla växtlighetsrutor (A1-C4) uppskattades ca 1-3 veckor efter branden på alla ytor. Materialet samlades in av FM Saara Lilja och fil. stud. Carina Järvinen.

Tabell 3. Brandskadeklasser för bottenskiktet

Klass	Förklaring
PK0	Inga synliga brandskador
PK1	Viss dödlighet i bestånden skönjbar, men växterna i huvudsak oskadda
PK2	Bestånden döda, men blad och förgreningar i huvudsak oskadda
PK2+	Som klass 2 men marken täckt av ett \pm jämnt lager döda barr
PK3	Av mossbestånden återstår endast någon cm korta stammar. Artbestämning ej längre möjlig
PK3+	Som klass 3 men marken täckt av ett \pm jämnt lager döda barr
PK4	Bestånden brunnit helt
PK4+	Som klass 4 men marken täckt av ett \pm jämnt lager döda barr
PK5	Humuslagret delvis konsumerat av elden
PK6	Humuslagret helt konsumerat av elden
PK7	Trädrot/sten som blottats
muu	På marken liggande trädstam

Tabell 4. Brandskadeklasser för fältskiktet

Klass	Förklaring
KK0	Inga synliga brandskador
KK1	Bladen/bestånden svedda, men växterna i huvudsak oskadda
KK2	Bladen/bestånden i huvudsak döda men artbestämning fortfarande möjlig. Förvedade stammar och tjockare växtdelar endast på ytan skadade
KK3	Av risens förvedade stammar finns >10 cm kvar och även förgreningsstammar bevarade
KK4	(motsvarade i praktiken kategori 3)
KK5	Kvar finns endast korta stumpar av risens baser
KK6	Alla bestånd helt nedbrunna

4.3.5 Humuslagrets fuktighet

På förmiddagen strax före branden insamlades markprover från ytorna. Från fyra ställen vid rutorna A1-A4 och C1-C4 togs ett prov av humuslagret tillvara med hjälp av en markborr med diametern 58 mm. Proven togs av det s.k. H-skiktet, det översta lagret (färska växtdelar samt F-lagret) (FAO 1988) rensades bort för hand. Dessa sampel torkades i torkugn vid 60°C och vägdes både före och efter torkningen. På detta sätt kunde humuslagrets fuktighetsprocent vid tidpunkten för branden uträknas.

4.4 Analys av materialet

Resultaten redovisas dels med hjälp av deskriptiva figurer som stapeldiagram och scatterplots, dels genom statistiska analysresultat. Humuslagrets och mosstäckets minskning indelades i 10-millimetersklasser, i vilka fördelningen av observationer (frekvensen) åskådliggjordes genom stapeldiagram. Variationskoefficienten (CV %) uträknades för humuslagrets minskning. Härutöver analyserades humuslagrets tjocklek i medeltal före brand mellan de olika provytorna med Kruskal-Wallis-test för att utröna om ytorna skiljer sig från varandra i fråga om denna egenskap (Ranta m. fl. 1997). Samma test används för att analysera humuslagrets och mosstäckets minskning i medeltal per hyggesbehandling för skillnader behandlingarna emellan. En eventuell korrelation mellan mängden hyggesrester och humuslagrets minskning i branden undersöktes med hjälp av korrelationsanalys (Ranta m. fl. 1997). Korrelationskoefficienten uträknades också för sambandet mellan humuslagrets fuktighetsprocent och humuslagrets minskning. För växtlighetens del analyserades ett eventuellt samband mellan de utvalda arternas täckningsprocenter och humuslagrets minskning med Mann & Whitney's U-test (Ranta m. fl. 1997). Före analysen indelades täckningsgraderna för varje arts del i två grupper: i den ena ingick täckningsprocenterna för de rutor där humuslagret konsumerats i branden, i den andra de där branden inte nått ner till humuslagret. Täckningsgraderna i dessa två grupper jämfördes. För den statistiska testningen användes version 10 av programmet SPSS.

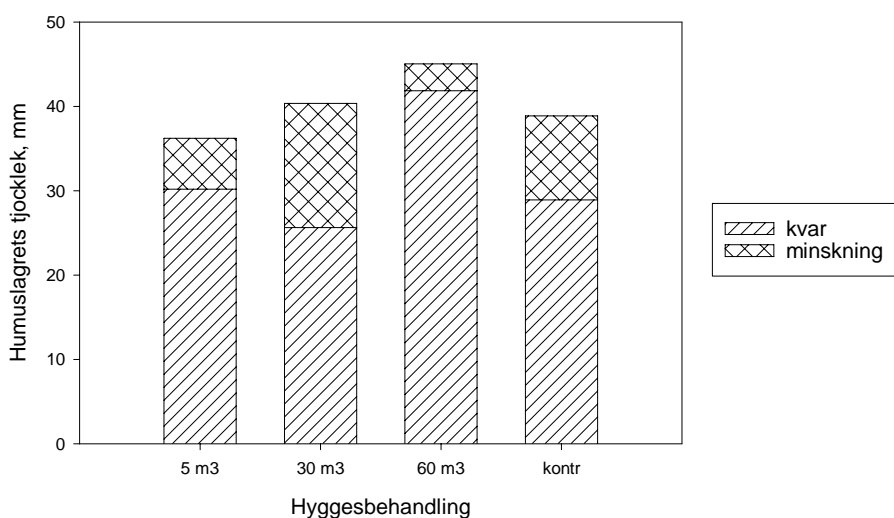
5. RESULTAT

5.1 Brandresultatet

5.1.1 Humuslagret/mosstäcket och dess förbrukning i branden

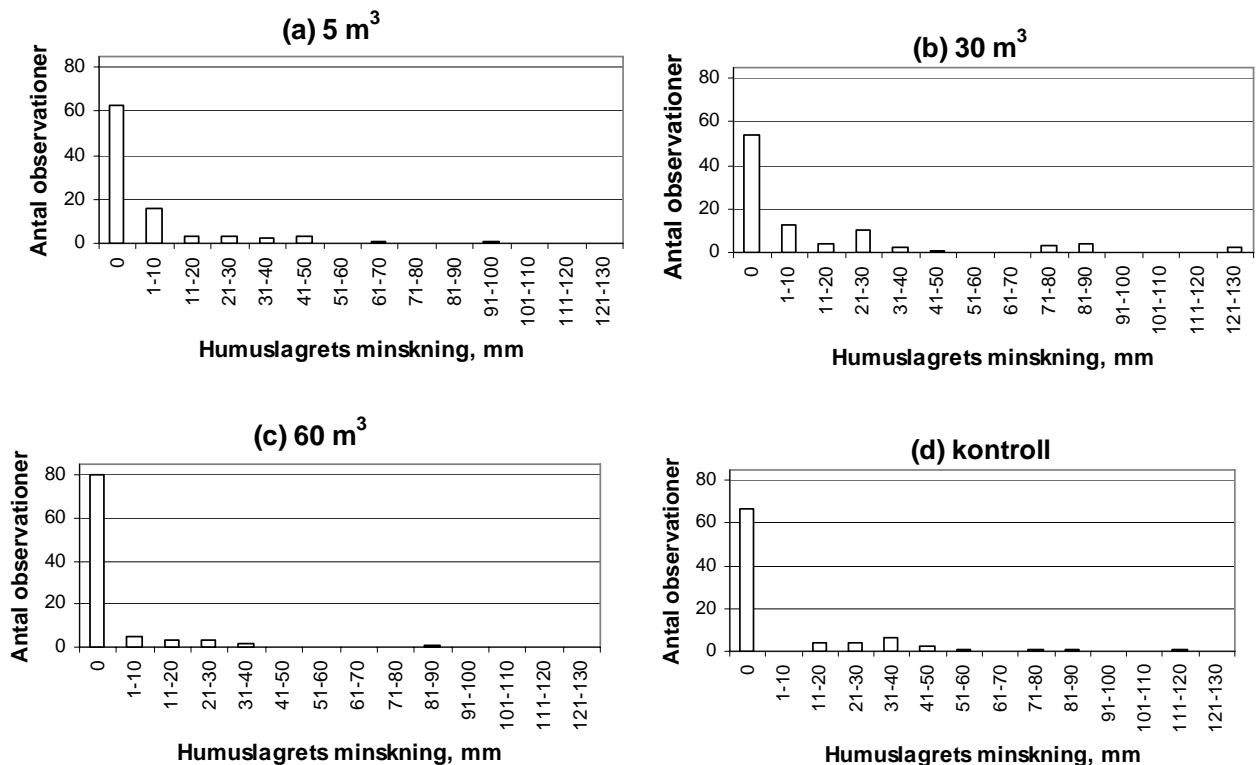
Humuslagrens tjocklek i medeltal per provyta före brand skiljde sig inte från varandra på ett statistiskt signifikant sätt (Kruskal-Wallis-test, $p = 0,443$). Detta innebär dels att man kan behandla humuslagrens tjocklekar före brand som en enhetlig grupp i fortsatta tester och dels att de eventuella skillnader som uppstår mellan tjocklekarna är orsakade av förändringar, inte av olika utgångslägen.

Humuslagrets förbrukning i branden inom och mellan de olika behandlingarna varierade stort. Humuslagret minskade i medeltal mest på 30 m³-ytorna, minskningen var 14,7 mm räknat som medeltal för alla observeringspunkter på ytorna (figur 5). Minst förbrukades humuslagret i medeltal på 60 m³-ytorna, 3,2 mm. På 5 m³-ytorna var minskningen 6,0 mm och på kontrollytorna 10,0 mm i medeltal (figur 5, tabell 5). Trots en tydlig skillnad i humuslagrets minskning i medeltal per hyggesbehandling, befanns de olika behandlingarna inte skilja sig på ett statistiskt signifikant sätt vid analys av de 12 provytornas medeltal vad minskningen beträffar (Kruskal-Wallis-test, $p = 0,228$).



Figur 5. Brandens förbrukning av humuslagret i medeltal per hyggesbehandlingskategori

Räknat som medeltal av alla observationspunkter (metallpinnar) minskade humuslagret i alla behandlingar. Variationskoefficienten, CV %, som är ett mått på hur stor andel standardavvikelsen är av medeltalet (Ranta m.fl. 1997), visar dock att variationen mellan de olika observationspunkterna är mycket stor (tabell 5). På största delen av observationspunkterna minskade humuslagret inte alls. Detta syns i figur 6 där humuslagrets minskning är indelat i 14 st 10-millimetersklasser och resultatet är framställt som frekvensen, dvs. antal observationer, per klass. Vid jämförelse av de olika klasserna behandlingarna emellan märks relativt fler observationer i 71-80 och 81-91 mm-klasserna i 30 m³-behandlingarna än i de andra.



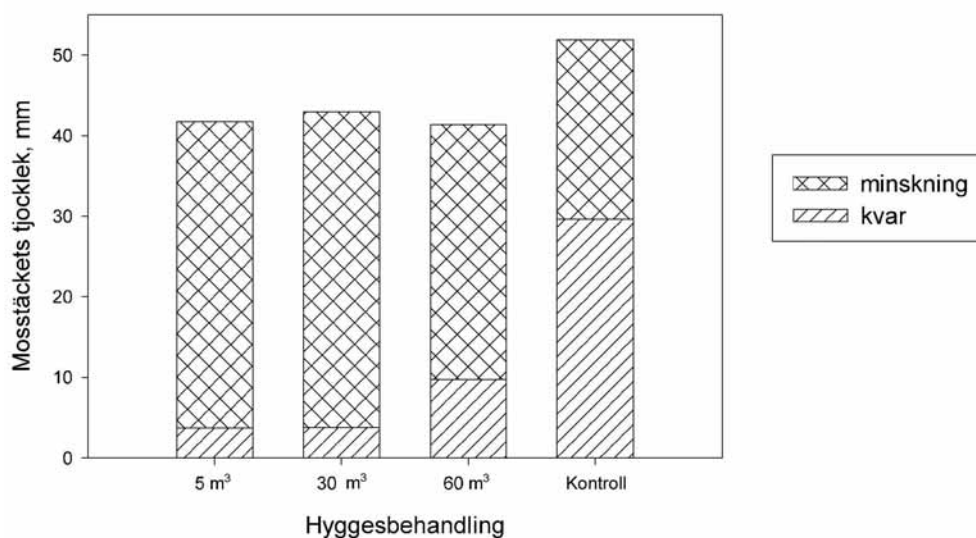
Figur 6. Humuslagrets minskning i branden: observationspunkternas fördelning mellan 14 st. 10-millimetersklasser i a) 5 m³-ytorna, b) 30 m³-ytorna, c) 60 m³-ytorna och d) kontrollytorna.

På den yta där branden förbrukat i medeltal störst del av humuslagret, en av dem där 30 m³ träd lämnats på marken, var minskningen 21,7 mm. På en av de ytor där 60 m³ fällda träd lämnats var branden så ytlig att humuslagret inte förbrukats vid någon av pinnarna. Inom alla tre 5 m³-ytor minskade humuslagret i medeltal ungefär lika många mm (tabell 5).

Tabell 5. Humuslagrets och mosstäckets minskning i medeltal per provbestånd, samt minskningens procentuella variationskoefficient CV % för humuslagrets del.

Mängden fällda träd	Yta nr. (n = 12)	Humuslagrets minskn., mm	Variations- koefficient, CV %	Mosstäckets minskn., mm
5 m ³	301	3,7	215	50,1
5 m ³	165	4,6	251	34,1
5 m ³	250	9,7	235	38,4
medelt. 5 m ³		<u>6,0</u>	<u>258</u>	<u>38,0</u>
30 m ³	85	21,7	157	60,9
30 m ³	41	5,6	285	15,6
30 m ³	203	16,6	186	55,4
medelt. 30 m ³		<u>14,7</u>	<u>192</u>	<u>39,2</u>
60 m ³	205	8,4	225	31,5
60 m ³	55	0,0	-	14,1
60 m ³	327	1,4	261	49,2
medelt. 60 m ³		<u>3,2</u>	<u>359</u>	<u>39,2</u>
kontr.	334	4,7	326	4,3
kontr.	226	19,1	167	28,6
kontr.	56	7,1	202	35,8
medelt. kontr.		<u>10,0</u>	<u>223</u>	<u>22,3</u>

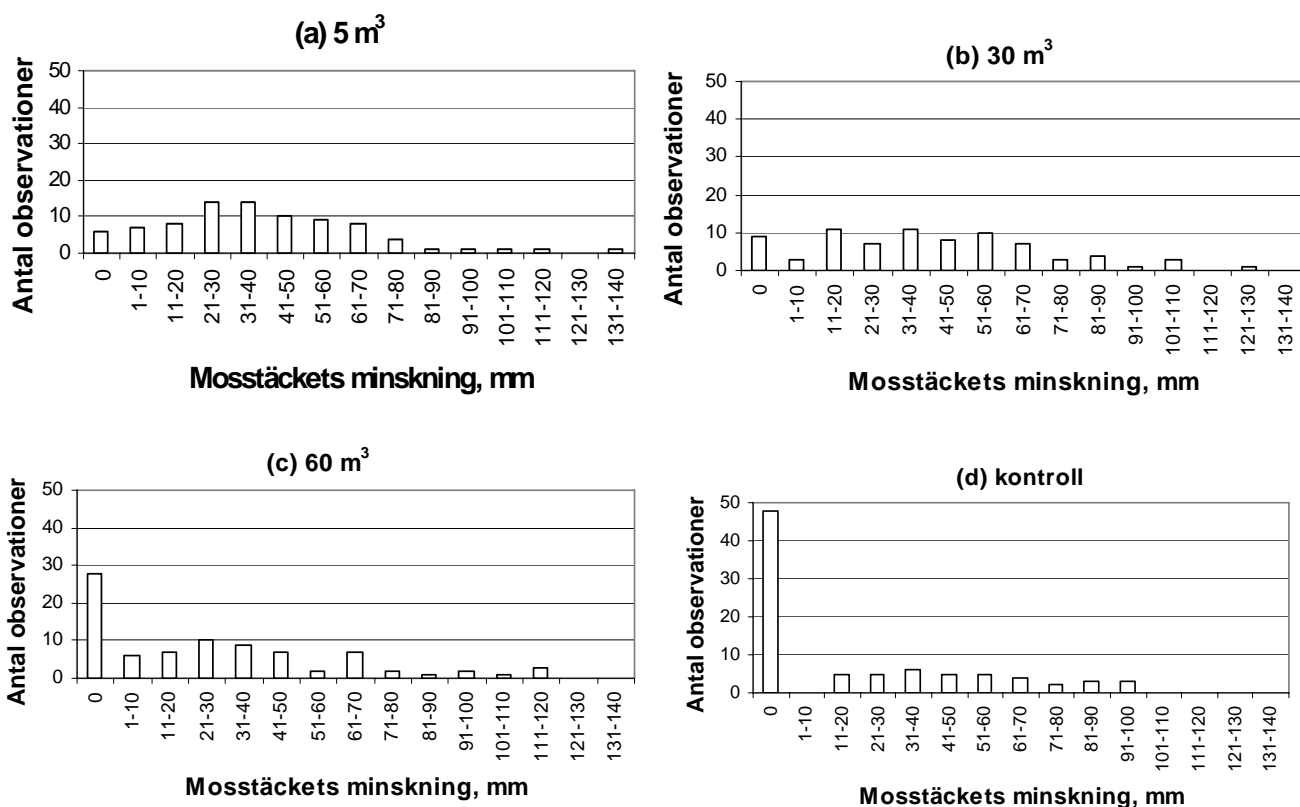
Av mosstöcket förbrukades i medeltal mest inom 30 m³-ytorna (figur 7), 39,2 mm räknat som medeltal för alla observeringspunkter. Kontrollbehandlingen framträder klart som den där mosstöcket minskat i medeltal minst och följaktligen har mest kvarvarande mosställe. På kontrollytorna förbrukades mosstöcket i medeltal 22,3 mm. På 5 m³-ytorna var minskningen 38 mm och på 60 m³-ytorna 39,2 mm i medeltal (tabell 5).



Figur 7. Brandens förbrukning av mosstöcket i medeltal per behandlingskategori.

I medeltal har mosstäckets minskat i branden på alla provytor (tabell 5). En analys av minskningen per provyta i medeltal visar dock att behandlingarna på denna punkt inte skiljer sig på ett statistiskt signifikant sätt (Kruskal-Wallis-test, p -värde 0,340).

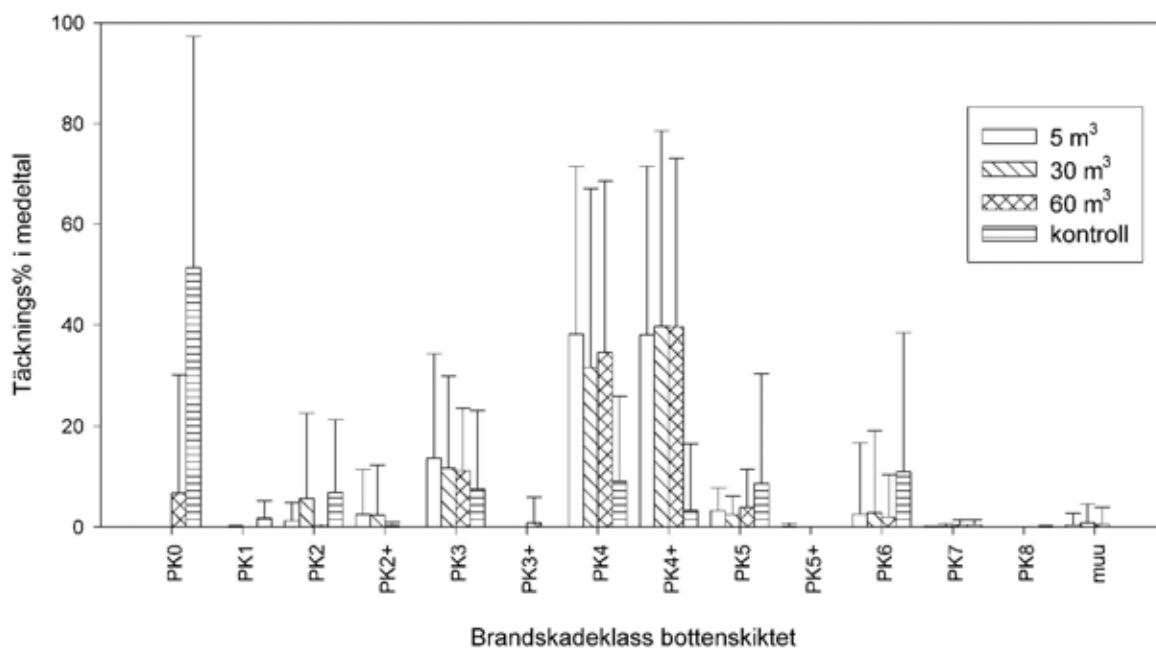
Variationskoefficienten (CV %, tabell 5) visar att det fanns en stor variation mellan de olika observationspunkterna. Om man delar in mosstäckets minskning i 10-millimetersklasser och betraktar observationspunkternas frekvensfördelning mellan de olika klasserna ser man att på 5 m³- och 30 m³-ytorna är punkterna relativt jämnt fördelade mellan de olika klasserna förutom att de klasser som representerar störst minskning endast har några ströobservationer (figur 8). I både 60 m³- och kontrollytorna finns en majoritet av punkterna i 0-klassen, dvs. där mosstäckets inte minskats av branden.



Figur 8. Mosstäckets minskning i branden: observationspunkternas fördelning mellan 14 st. 1 cm-klasser i a) 5 m³-ytorna, b) 30 m³-ytorna, c) 60 m³-ytorna och d) kontrollytorna.

5.1.2. Brandskadeklasser för bottenskiktet

Bottenskiktets brandskadeklassers (tabell 3) procentuella fördelning för bottenskiktets del varierar mycket inom varje behandling (figur 9). Detta syns både i den stora standardavvikelsen och det att ingen klass är klart dominerande.



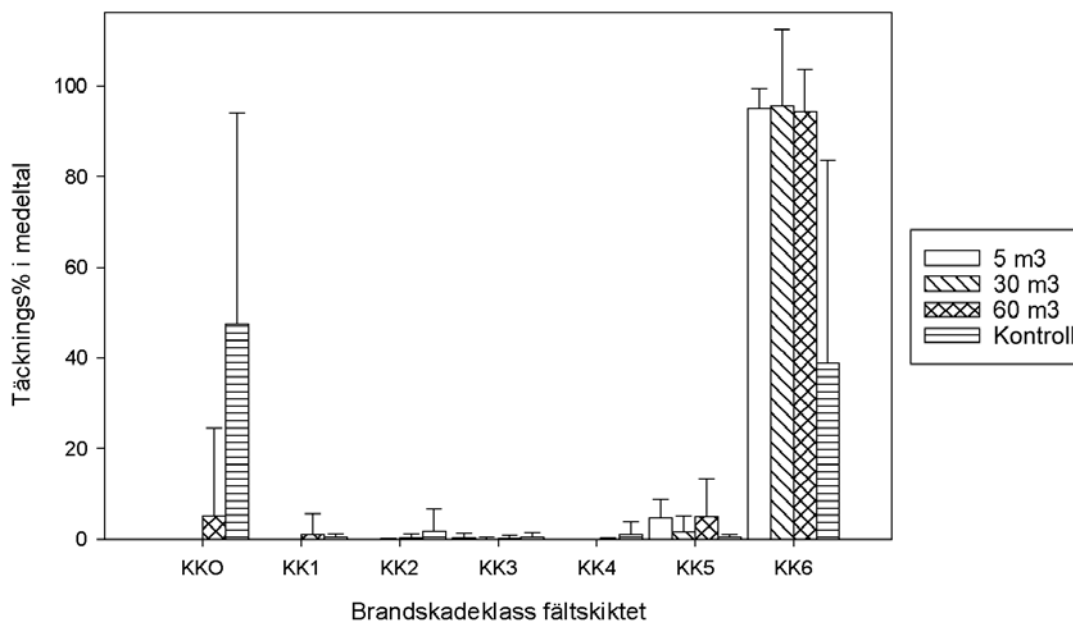
Figur 9. Fördelningen av brandskadeklasserna i bottenskiktet i medeltal i de olika behandlingarna samt standardavvikelsen.

Även här finns dock ett par klasser som är allmännast för de hyggesbehandlade ytorna, nämligen klass PK4 (bestånden brunnit helt) och PK4+ (som klass 4 men marken täckt av ett ± jämnt lager döda barr). Kontrollytorna framträder tack vare en stor andel i skadeklass 0. De klasser som representerar störst skada på bottenskiktet, PK5 och PK6, är sparsamt representerade.

5.1.3. Brandskadeklasser för fältskiktet

De olika brandskadeklassernas (tabell 4) procentuella täckning av växtlighetsrutorna fördelades för fältskiktets del mycket jämnt mellan de olika hyggesbehandlingarna (figur

10). Den stora andelen i skadeklass KK 6 (alla bestånd helt nedbrunna) visar att fältskiktet på dessa ytor förstördes närapå totalt. Ur figur 10 syns också att skadeklasserna för kontrollytornas del fördelades främst mellan klass KK0 (inga synliga skador) och KK6. Detta innebär att brandresultatet på kontrollytorna är relativt jämnt fördelat mellan obrunna och helt nedbrunna fläckar.

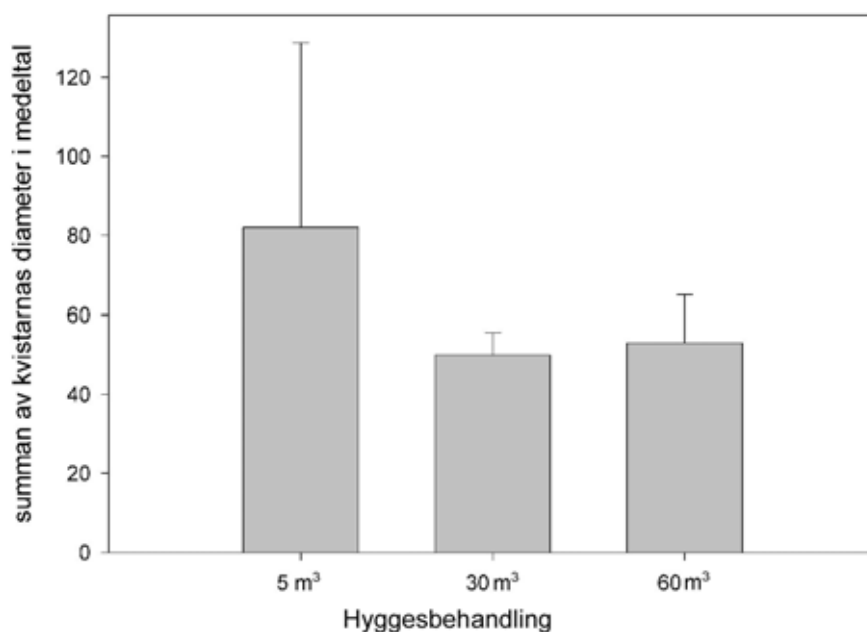


Figur 10. Fördelningen av brandskadeklasserna (tabell 4) i fältskiktet i de olika behandlingarna samt standardavvikelsen.

5.2. Brandresultatet i förhållande till mängden hyggesrester och mängden fällda träd

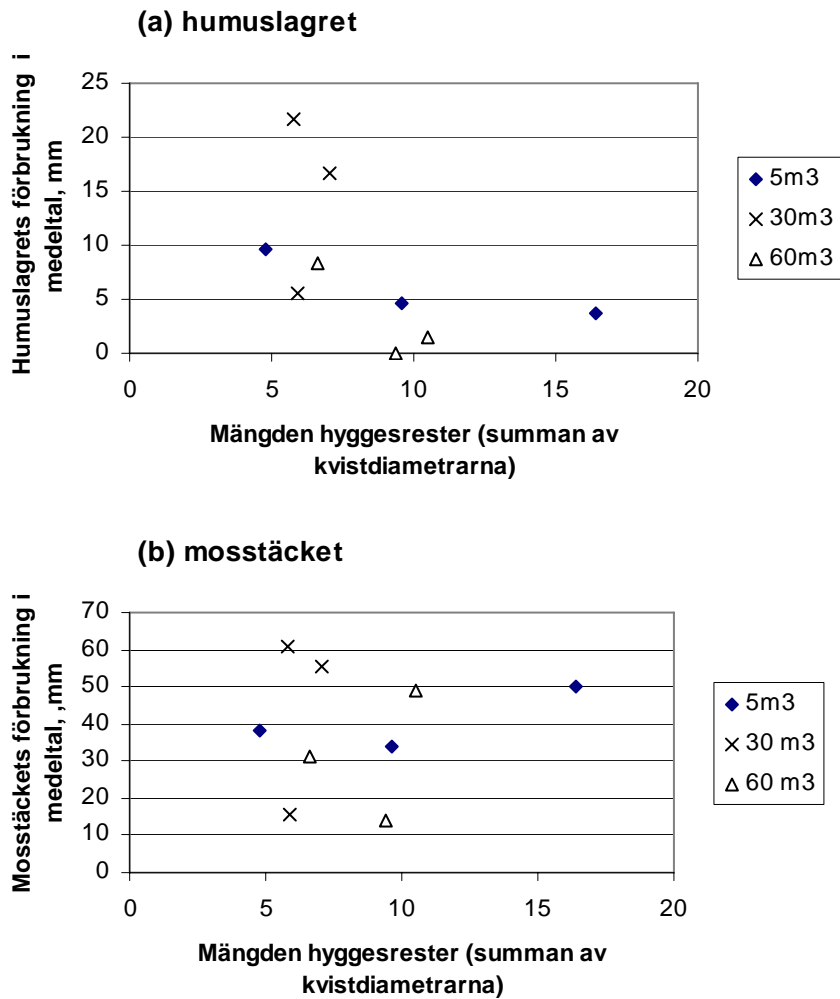
Relativt sett mest hyggesrester fanns på 5 m³-ytorna, summan av kvistdiametrarna per provyta var där 82 cm. På 30- och 60 m³-ytorna fanns det mindre, sinsemellan dock ungefär lika mycket (sammanlagt i medeltal 50 cm på 30 m³-, och 53 cm på 60 m³-ytorna).

Mängden hyggesrester har varierat mest mellan rutorna på 5 m³-ytorna, vilket syns i den stora spridningen (figur 11).



Figur 11. Mängden hyggesrester (kvistarnas sammanlagda diameter, mm) i medeltal i de olika behandlingskategorierna samt standardavvikelsen.

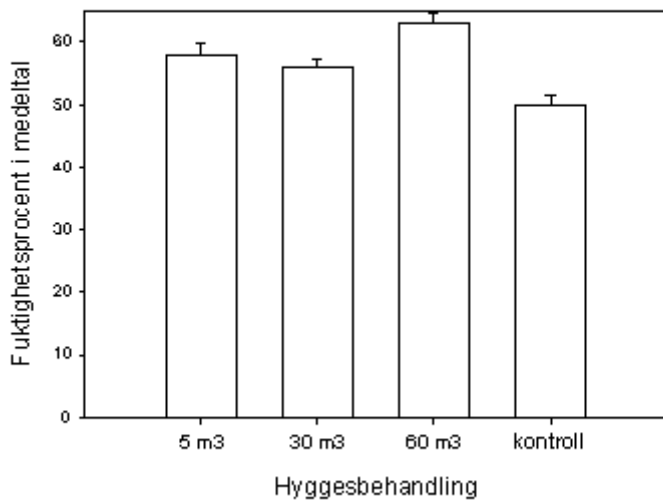
Ett eventuellt samband mellan mängden hyggesrester och brandresultatet i form av humuslagrets och mosstäckets förbrukning undersöktes deskriptivt i form av scatterplots (figur 12 a och b). Inget statistiskt signifikant samband fanns (korrelationskoefficient 0,529, $p=0,143$), även om en liten tendens till korrelation kan anas mellan humuslagrets minskning och mängden hyggesrester (figur 12 a). Ingen korrelationsanalys gjordes för mosstäckets minskning och mängden hyggesrester eftersom figur 12 b talar sitt tydliga språk: ingen korrelation finns. Dyliga figurer har även uppgjorts för förhållandet mellan hyggesrestmängden och bottenkiktets skadeklasser 5 och 6 sammanlagda procentuella andel. Inte heller dessa beskrev någon statistiskt signifikant korrelation mellan mängden hyggesrester och brandresultat.



Figur 12 a) Humuslagrets, b) mosstäcket's förbrukning i branden i förhållande till mängden hyggesrester i medeltal/provyta

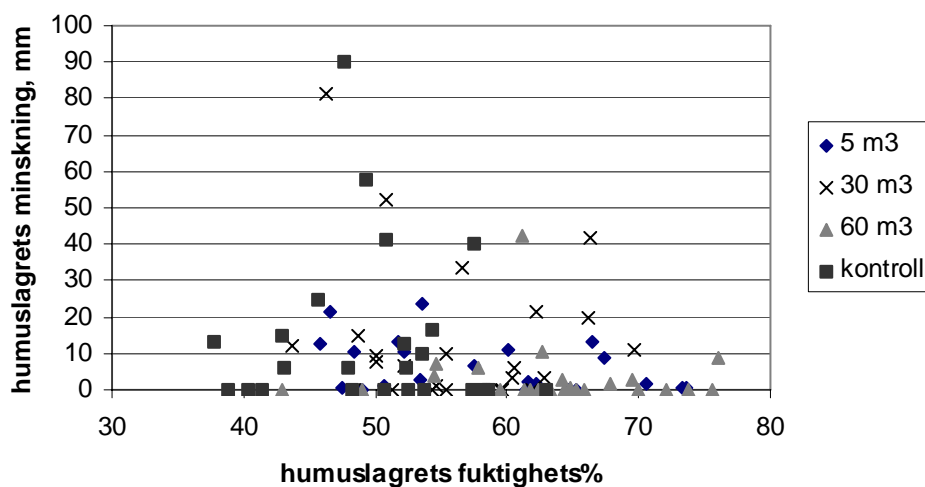
5.3. Brandresultatet i förhållande till humuslagrets fuktighet

Kontrollytornas humuslager var minst fuktiga vid brandtillfället; fuktighetsprocenten var i medeltal endast 50 %. Högst fuktighetsprocent hade 30 m³-ytorna med i medeltal 63 % (figur 13).



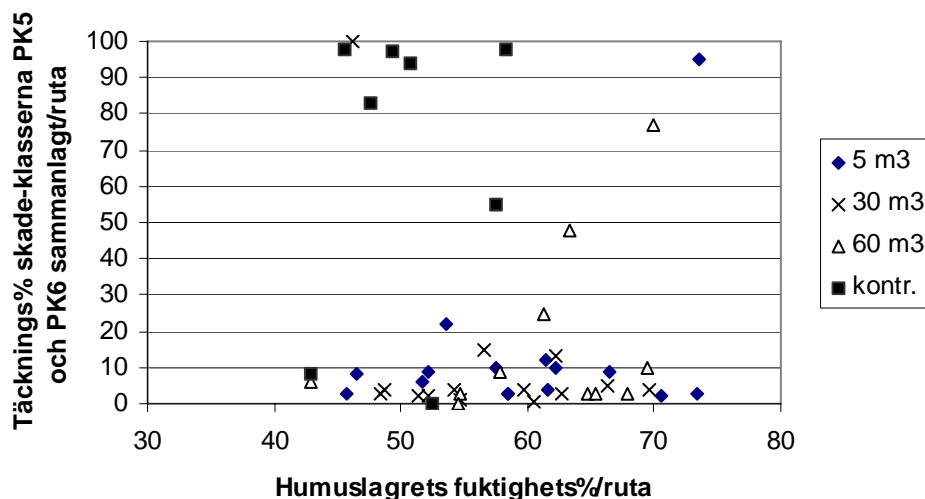
Figur 13. Humuslagrets fuktighetsprocent i medeltal för de olika behandlingskategorierna samt medeltalets medelfel.

Ju fuktigare humuslagret var desto mindre var humuslagrets minskning i branden. Humuslagrets fuktighetsgrad konstaterades nämligen korrelera med humusens förbrukning i branden, både explorativt uttryckt (figur 14) och som resultat av korrelationsanalys. Pearson's korrelationskoefficient mellan humuslagrets fuktighet och humuslagrets minskning i medeltal per växtlighetsruta är $-0,215$ med p -värdet $0,036$. (Räknat som humuslagrets förbrukning jämfört med humuslagrets fuktighet i medeltal per provbestånd är korrelationskoefficienten $-0,552$ med p -värdet $0,063$).



Figur 14. Humuslagrets fuktighetsgrad och humuslagrets minskning i branden per växtlighetsruta

Korrelationen mellan brandresultatet mätt som brandskadeklassernas procentuella fördelning för de bottenskiktets klasser som indikerar störst skada, PK5 och PK6, och humuslagrets fuktighetsprocent undersöktes också (figur 15), men inget klart skönjbart mönster kunde konstateras.



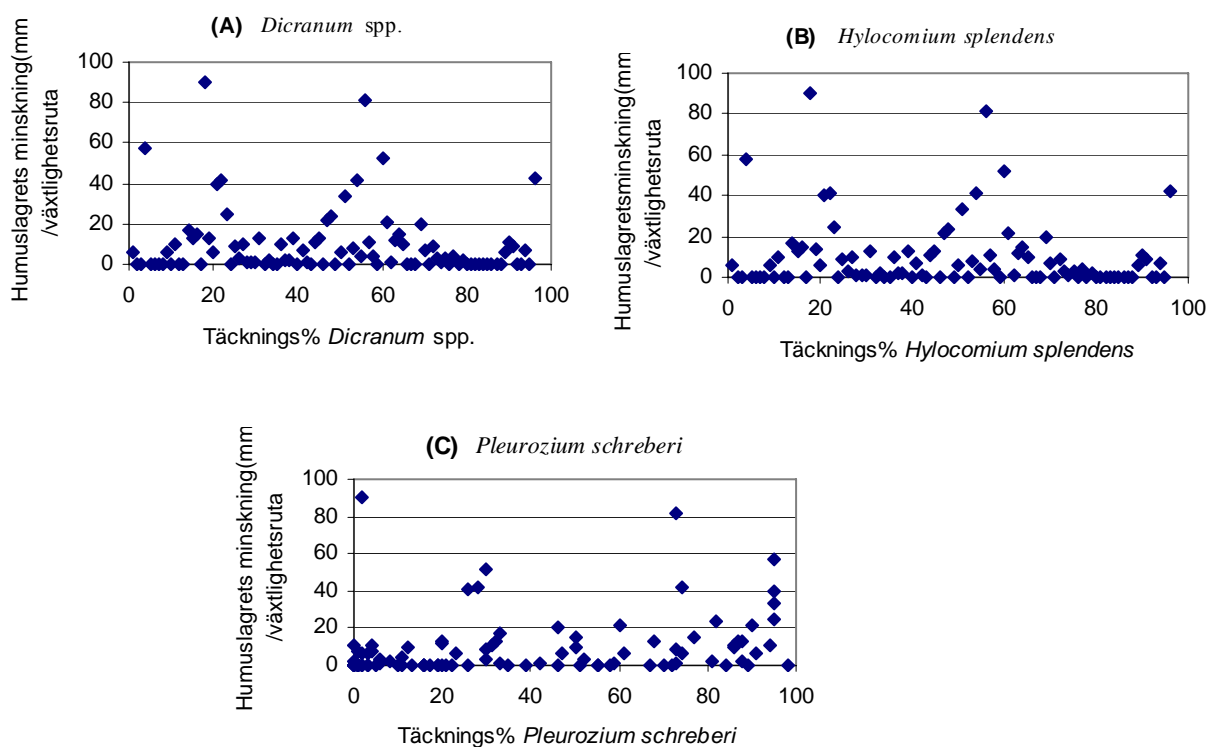
Figur 15. Humuslagrets fuktighetsgrad och bottenskiktets skadeklasser PK5 och PK6:s sammanlagda täckningsgrad i de olika behandlingarna.

5.4. Växtligheten och brandresultatet

5.4.1. Bottenskiktet

Förhållandet mellan täckningsgraden före brand för skogsmossorna *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* och *Dicranum* spp. och humuslagrets minskning i branden åskådliggörs i figur 16. För testning av sambandet mellan humuslagrets minskning i branden och mossornas täckningsgrad indelades växtlighetsrutorna först i två kategorier beroende på om humuslagret konsumerats överhuvudtaget i branden eller ej. För var och en av mossorna *Hylocomium splendens*, *Dicranum* spp. och *Pleurozium schreberi* testades skillnader mellan täckningsgraderna i dessa två grupper med hjälp av Mann & Whitney's U-test. För *Pleurozium schreberi* del kunde en statistiskt signifikant skillnad påvisas mellan täckningsgraderna i de två grupperna ($p = 0,034$). Slutsatsen är att täckningsgraden för *Pleurozium schreberi* i medeltal varit olika i den gruppen där humuslagret har minskat och den där det inte har. I figur 16 c) beskrivs hur täckningsgraden hos *Pleurozium schreberi*

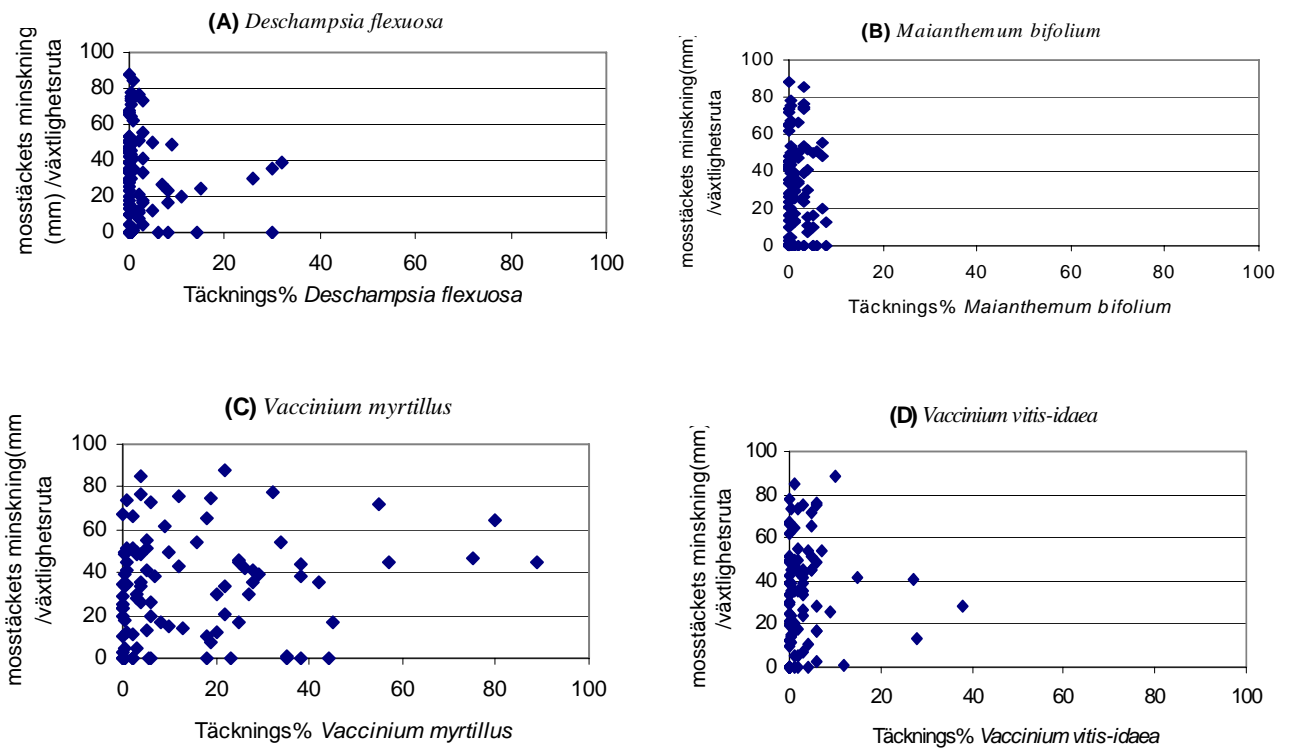
före brand förhåller sig till humuslagrets minskning. Ur figuren kan utläsas att täckningsgraden varit hög på de ytor där humuslagret minskat mycket. Ingen statistiskt signifikant skillnad mellan de två grupperna kunde påvisas hos *Hylocomium splendens* och *Dicranum* spp. Figur 16 a) och b) visar att täckningsgraden för dessa mossor före brand varit låg på de ytor där humuslagret minskat mycket.



Figur 16. Humuslagrets minskning i förhållande till täckningsprocenten före brand per växtlighetsruta hos a) *Dicranum* spp., b) *Hylocomium splendens* och c) *Pleurozium schreberi*.

5.4.2. Fältskiktet

Täckningsgraderna per växtlighetsruta för de växtarter som valts att undersökas från fältskiktet (*Deschampsia flexuosa*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus* och *Vaccinium vitis-idaea*) jämfördes med hur mycket mosstället minskat i branden (figur 17). På basen av dessa figurer kan konstateras att inget samband finns mellan dessa fyra arters täckningsgrader och hur mycket mosstället minskat i branden. På grund av den uppenbara avsaknaden av korrelation som syns i figur 17 bedömdes inte statistisk testning som nödvändig.



Figur 17. Mosstäcket minskning i medeltal per växtlighetsruta i förhållande till täckningsprocenten av a) *Deschampsia flexuosa*, b) *Maianthemum bifolium*, c) *Vaccinium myrtillus* och d) *V. vitis-idaea*.

6. DISKUSSION

6.1 Utvärdering av mät- och undersökningsmetoderna

Eftersom jag i detta arbete har strävat till att undersöka brandresultatet (mätt på två olika sätt) i mitt experiment belyst från flera olika håll har arbetet kommit att innefatta många olika parametrar som alla har insamlats och uppmätts på olika sätt. Varje mätmetod har sina svaga och starka sidor. Under denna rubrik har jag kort utvärderat mätmetoderna för de mest centrala parametrarna.

Humuslagrets minskning i branden mättes med hjälp av metallpinnar, en metod som använts av bl.a. Wikars och Schimmel (2001). Tanken om branddjupet som mätare på brandskadan lades fram redan av Van Wagner (1983). Metoden har befunnits fungera bra även i detta arbete och bedöms vara en relativt enkel, billig och förhållandevis objektiv metod att få ett mått på branddjupet, som i sin tur ger ett mått på brandskadan.

Huruvida humuslagrets/mosstäcket minskning är den bästa mätaren att använda då man undersöker t.ex. hyggesrestmängdens inverkan på brandresultatet kan diskuteras. Mängden hyggesrester har konstaterats ha en ökande effekt på eldfrontens styrka (Vasander & Lindholm 1985). Därför hade det varit intressant att vid undersökningen av inverkan av mängden hyggesrester på branden och därmed brandresultatet, också mäta eldfrontens temperatur.

Brandskadan mättes även som täckningsgrad i brandskadeklasser. Metoden och klassificeringen baserar sig mycket långt på den klassificering som använts av Tolonen m. fl. 1994. Parametern visade sig vara svår att använda på grund av att täckningen av de olika skadeklasserna fördelats främst på några få klasser både i fält- och bottenskiktet. För fältskiktets del indikerade resultatet att hela fältskiktet brunnit på de hyggesbehandlade ytorna, och att det brunnit fläckvis på kontrollytorna. Detta bedöms avspegla den korrekta situationen. Att största delen av skadeklassernas täckning för bottenskiktets del fördelades på skadeklass PK4 och PK4+ ger däremot upphov till större skepsis. För det första kan detta indikera att klass 4 har varit alltför löst och brett definierad. För det andra är skillnaden mellan PK4 och PK5 att i den sistnämnda även en del av humuslagret har förbrukats i branden. Detta är något som efter branden är ganska svårt att definiera. I vissa fall har antagligen områden som egentligen borde ha hört till PK5 klassats som PK4. Det här berättar redan i sig något om parameterns svaga sida, nämligen dess subjektivitet. Man strävade till att hålla resultatens subjektivitet på en så låg nivå som möjligt bl.a. genom att

endast två personer (Carina Järvinen och Saara Lilja) utförde karteringen av skadeklasserna. Dessa personer gick gemensamt igenom kriterierna för varje klass i fält före arbetet inleddes.

Metoden för mätning av hyggesresterna på provytorna är en tillämpad version av en metod som finns beskriven i McRae m.fl. (1979) och valdes på grund av att den var lätt att genomföra och objektiv. Den har utvärderats av Vesterinen (2002).

Humuslagrets fuktighetsprocent har mätts med hjälp av markprover som medeltal för hela humuslagret. Eftersom fukthalten hos ett bränsle påverkar dess förbränning precis vid bränslets yta kan det tänkas att en småskalig variation i fuktighet i vertikal riktning inom humuslagret har inverkat på dess förbränning. Denna småskaliga variation är omöjlig att spåra då fuktighetsprocenten mätts för hela humuslagret på en gång. Det bedömdes dock att en utvärdering av sambandet mellan humuslagrets fuktighetsprocent och humuslagrets minskning i branden kunde genomföras med mätning av denna noggrannhet. Även praktiska skäl fanns att göra mätningen för hela humuslagret på en gång.

De uppgifter för de olika växtarternas täckningsgrad före brand är uppskattade som procentuell täckning av en 50 × 50 cm ruta. Vid användning av dylika täckningsgrader ingår alltid ett visst mått av subjektivitet i resultatet, men har jämfört med andra metoder att insamla uppgifter om växtäckets sammansättning konstaterats vara en snabb och jämförelsevis pålitlig metod (Vanha-Majamaa m. fl. 2000). Metodens subjektivitet försökte man dock eliminera så långt det gick genom att synkronisera uppfattningen om täckningsgraderna hos de personer som genomförde mätningarna. Detta kan anses ha gjort resultaten så tillförlitliga som möjligt.

6.2 Brandresultatet i förhållande till experimentområdenas egenskaper

Inget samband kunde visas mellan vare sig mängden hyggesrester eller mängden fällda träd och brandresultatet trots att en positiv korrelation mellan ökad mängd bränsle och brandresultatet förväntades enligt undersökningshypotes 1. I såväl Vasander & Lindholms (1985) som Schimmel & Granströms (1996) undersökningar blev branden intensivare och mer långvarig på ytor med mycket bränsle (hyggesrester). Av speciellt Schimmel & Granströms (1996) resultat framgår att olika mängder bränsle inverkade på hur länge branden varade på ett visst ställe och därmed på hur djupt ner i marken den medförde

förhöjda temperaturer. Två stora skillnader mellan denna undersökning och deras experiment finns dock. Brandexperimenten gjordes i Schimmel & Granströms (1996) fall på små rutor (2 m²) medan de ytor som brändes i denna undersökning var 1-2 ha stora. Därutöver genomfördes bränningarna i Schimmel & Granströms (1996) fall i skog med intakt trädbestånd medan hyggesbehandlingarna haft en central roll i mitt experiment. Även Ugglå (1957), som undersökte marktemperaturer vid hyggesbränningar, fick resultat som visar att en stor mängd hyggesrester ledde till högre temperaturer vid markytan under längre tid jämfört med ytor där mängden hyggesrester var obetydlig. Även här bör man komma ihåg hyggesbehandlingarnas betydelse för provytornas kondition – i ovan nämnda fall var det fråga om regelrätta hyggen.

Brandresultatet mättes i min undersökning på två olika sätt; i brandskadeklasser och som humuslagrets minskning. Brandskadeklassernas fördelning befanns dock vara såpass homogen mellan de olika ytorna och behandlingarna att användningen av det som mätare för brandresultatet inte gav någon grund för mer detaljerad analys.

Avsaknaden av korrelation mellan brandresultatet och ökad mängd fällda träd i de olika hyggesbehandlingarna i denna undersökning står troligen att finna i den stora variationen brandtillfällena och därmed provytorna emellan samt hyggesbehandlingarnas inverkan dels på humuslagrets fuktighet och dels på brandförloppet i allmänhet. Variationen beror på att brandtillfället är en mycket komplex händelse. De på branden inverkan faktorerna kan man i detta fall indela i två grupper: de som skapats av hyggesbehandlingarna och de som är oberoende av dem, bl.a. väderförhållanden under branden (vindstyrka, luftfuktighet osv.), väderförhållanden under en längre tid före branden och topografi (Zackrisson 1977, Van Wagner 1983, Flannigan & Harrington 1988, Ryan 2002). Ett faktum är också att det bland 60 m³-ytorna fanns en yta (nr. 55), vars ena hörn inte brann. Yta 55:s brandresultat har inverkat på medeltalet för alla 60 m³-ytor, men troligen inte i så stor utsträckning att förhållandena mellan behandlingarna i fråga om brandresultat har ändrats.

Ur brandskadeklassernas fördelning kan man utläsa att hyggesbehandlingarna och mängden hyggesrester på ett allmännare plan har påverkat hur fältskiktet brunnit. En stor andel i skadeklass KK 6 (alla bestånd helt nedbrunna) indikerar nämligen att fältskiktet brunnit mer eller mindre totalt på alla hyggesbehandlade ytor, medan kontrollytorna också har en stor del i skadeklass KK0 (inga synliga brandskador; figur 10).

Hyggesbehandlingarna i min undersökning medförde förutom olika mängder till marken fällda träd på ytorna också att mängden hyggesrester varierade mellan de olika

behandlingskategorierna (figur 11). Summan av kvistdiametrarna var störst på 5 m³-ytorna, något som förklaras av att minst träd (stående + liggande sammanräknat) lämnades kvar på dessa ytor. Flest träd fördes alltså bort och hyggesresterna från alla dessa lämnades kvar. På 60 m³-ytorna igen lämnades flest träd kvar vilket ledde till att det på de ytorna inte frigjordes så mycket hyggesrester (kvistarna och topparna satt kvar på träden även då de fällts till marken).

På de ytor där 5 m³ fällda träd lämnades var också standardavvikelsen hos mängden hyggesrester störst. Fastän alla hyggen genomfördes enligt principen att hyggesresterna ska spridas ut så jämnt som möjligt över ytan tyder den stora standardavvikelsen på att de blev mest klumpvis fördelade just på 5 m³-ytorna. Detta kan tänkas hänga samman med att det varit mest hyggesrester på dessa ytor och dessa ytor mest liknar ett traditionellt kalhygge. På kalhyggen som huggs på mekanisk väg leder skogsbruksmaskinens användning normalt till att hyggesresterna lämnas i högar.

Schimmel och Granström (1996) undersökte temperaturer och deras varaktighet på olika djup i marken då ytor med olika mängd bränsle brändes. Ökad mängd bränsle medförde alltså större glödande förbränning i deras experiment, medan det inte gjorde det i min undersökning. Troligt är att skillnaderna mellan trenderna i de två undersökningarnas resultat står att finna i just hyggesbehandlingarna, vilka i mitt fall troligen bl.a. genom förändringar i markens fukthalt har påverkat den glödande förbränningens omfattning mer än den ökade mängden bränsle. De konstaterar dock att variationen ytorna emellan var stor, och hade även exempel på ytor där branden blev relativt långvarig även om hyggesrester saknades.

I min undersökning minskade humuslagret i medeltal mest, 14,7 mm, på 30 m³-ytorna och humuslagrets minskning i medeltal per behandlingskategori ligger mellan 0 och 14,7 mm (tabell 5). I Wikars & Schimmels (2001) experiment där man eftersträvade olika graders brandskada med hjälp av utestängande av regn från provytorna och tillförsel av olika mängder bränsle, låg minskningarna i medeltal per behandlingstyp mellan ca 7 och 55 mm.

En korrelation mellan humuslagrets fuktighet och den glödande förbränningens omfattning kunde påvisas i detta experiment så att fuktigare humus brann sämre. Resultatet överensstämmer med min undersökningshypotes 2. Liknande resultat har kunnat påvisas av bl.a. Brown m.fl. (1991), Frandsen (1997) och Miyanishi & Johnson (2002). Figur 14 visar dock att det finns stor variation mellan de olika mätpunkterna. Detta är ett resultat av att det utöver fuktighetsprocenten finns många andra faktorer, såsom väderförhållanden under och

efter branden, den brända ytans topografi, antändningspunkt (Zackrisson 1977, Chandler m. fl. 1983, Van Wagner 1988) och i detta fall naturligtvis även hyggesbehandlingarnas utformning som påverkar branden.

Vid jämförelse av humuslagrets fuktighet i medeltal före brand i de olika behandlingskategorierna konstaterades att kontrollytorna varit torrast medan humuslagret på 60 m³-ytorna varit mest fuktigt (figur 13). Förklaringen till dessa skillnader finns troligen just i hyggesbehandlingarna. På kontrollytorna finns ett intakt trädsikt vars rötter aktivt har sugit upp vatten från marken och humusen har därigenom blivit torrare. På de hyggesbehandlade ytorna har största delen av de levande träden förts bort samtidigt som hyggesresterna och speciellt de till marken fällda träden delvis kan ha hindrat avdunstningen.

På ett allmännare plan har brandförloppet, baserat på subjektiva observationer under brandtillfällena, skilt sig något mellan ytorna hörande till de olika hyggesbehandlingskategorierna. På de ytor där det fanns totalt sett störst mängd skapat bränsle i form av till marken fällda träd, dvs. 60 m³-ytorna, utvecklades branden oftare till kronbrand än i de övriga behandlingarna. Den stora mängden döda träd på marken hjälpte alltså till att öka eldens intensitet och "lyfta" eldfronten uppåt, medan detta inte inverkar positivt på den glödande förbränningen. Detta står i linje med tidigare konstateranden om att brandintensiteten endast har liten direkt inverkan på hur mycket värme från branden som leds till marken (Johnson 1992, Bradstock & Auld 1995) och att en brand med hög intensitet inte behöver förbränna någon stor del av markskiktet och humuslagret (Schimmel & Granström 1996)

Eftersom väderförhållandena under brandtillfället är något som påverkar alla bränder utvärderar jag här kort deras betydelse för slutresultatet.

Vindens inverkan på brandens framfart torde i denna undersökning ha varit mycket liten. Av säkerhetsskäl genomfördes nämligen alla bränningar under dagar med svaga vindförhållanden (tabell 2). På vissa ytor förekom byighet i mindre utsträckning. Vindstyrkan är i allmänhet en av de faktorer som har störst inverkan på brandens styrka och avanceringshastighet eftersom mängden syre som finns tillgängligt i förbränningsprocesserna regleras av vinden (Byram 1959, Chandler m. fl. 1983).

Luftfuktigheten varierade relativt sett mer än vindstyrkan under de olika brandtillfällena. Luftens fuktighet varierar naturligt under dagens och sommarens lopp och eftersom kallare luft kan innehålla mindre fukt (Krumm 1959) kommer daggen att vara kraftigare längre mot hösten då luften blir kallare. Luftfuktighetens inverkan på själva

brandtillfället torde dock inte ha medfört stora skillnader mellan ytorna eftersom inga bränder på grund av daggen antändes tidigt på förmiddagen eller sent på eftermiddagen. För brandresultatet mätt som humuslagrets förbränning torde lufttemperaturen ha haft liten direkt betydelse eftersom temperaturvariationerna mellan de olika brandtillfällena var relativt små.

Efter branden släcktes ytorna inte genast utan tilläts glöda ända till nästa regn. De tre ytor där humuslagret minskade mest i branden brändes alla i början av juni. Den yta (nr. 334) som fick glöda allra längst och till slut släcktes för hand pga. uteblivet regn, uppvisade trots den långa tiden för potentiell glödande förbränning fjärde minst minskning av humuslagret. Detta kan bero på att yta 334 brändes sist av alla, i augusti, då daggen redan var riklig. Man strävade till att genomföra bränningarna tidsmässigt så nära varann som möjligt, men experimentets omfattning och många praktiska faktorer (markägarnas åsikter, semesterperioden, mängden tillgänglig utrustning osv.) inverkar sist och slutligen också på branddatumet. Den ökade mängden dagg under tiden efter branden för de ytor som brändes i slutet av sommaren kan ha inverkat på den glödande förbränningens omfattning.

Ett exempel på inverkan av hyggesbehandlingarna oberoende faktorer på undersökningens resultat är yta nr. 55 (med 60 m³ liggande ved) vars ena hörn inte brann. Orsaken till detta kan åtminstone till en del stå att finna i kombinationen av vindens riktning under branddagen (som bestämde antändningspunktens läge) och ytans topografi, provytan befann sig nämligen i en sluttning. På grund av vindens riktning antändes ytan på sluttningens krön, och eldfronten fick söka sig ned för sluttningen. En brand som går nedför en sluttning brinner dock alltid med mindre intensitet än en som går uppför (Van Wagner 1988). Allt detta har påverkat på provytans brandresultat.

6.3 Brandresultatet och växtligheten

Av de tre mossor (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* och *Dicranum* spp.) som här undersökts, minskade humuslagret mer på de ytor där det växte mycket *Pleurozium schreberi* (figur 16 c). *Pleurozium schreberi*'s riklighet har alltså haft en inverkan på brandresultatet. Mossorna förväntades placera sig i följande ordning i fråga om brand- och antändningskänslighet (från minst till mest brandkänslig): 1) *Dicranum* spp., 2) *Hylocomium splendens* och 3) *Pleurozium schreberi*. Resultaten för *Pleurozium schreberi*:s

del stämmer alltså överens med hypotesen. Inget samband kunde påvisas mellan täckningsgrad och humuslagrets minskning för *Hylocomium splendens* och *Dicranum spp.*:s del. Humuslagrets minskning kan alltså inte förklaras av dessa mossors förekomst. Brandresultatets förklaring står för dessa rutors del att söka i någon eller några av de övriga faktorer som påverkat branden.

För fältskiktets del skiljde sig inte brandskadeklassernas fördelning mellan rutorna nämnvärt. Täckningsgraderna för de fyra här undersökta växtarterna korrelerade inte heller med mosstäcket minskning i branden. Variationerna i fältskiktets sammansättning har alltså åtminstone inte mätt på detta sätt påverkat brandresultatet (figur 17). Sylvester & Wein (1981), som undersökt olika växtarters bränseegenskaper, fann tydliga skillnader mellan olika typer av växter, såsom gräs, ris och örter.

Avsaknaden av korrelation i min undersökning tyder på att fältskiktets förbränning i branden påverkats såpass mycket av hyggesbehandlingarna att fältskiktarternas egenskaper inte i synlig grad kunnat påverka brandförloppet. Alternativt är de förmodade skillnaderna mellan de arter som undersökts från fältskiktet så små att det inte syns i brandresultatet. Slutresultatet av brandbehandlingarna är i alla fall det att fältskiktet i hög grad förstördes i branden.

Vid undersökning av inverkan av fältskiktets arters täckningsgrad på brandresultatet valdes mosstäcket, inte humuslagrets, minskning i branden som indikator för brandresultatet. Denna mätare på brandresultatet valdes eftersom effekterna av fältskiktets arters brandegenskaper inte ansågs sträcka sig ända till marken och humusskiktet, utan antogs påverka främst brandintensiteten. Brandintensiteten har mycket liten direkt inverkan på hur mycket värme från branden som leds till marken (Johnson 1992, Bradstock & Auld 1995). Ett bättre mått på brandresultatet hade varit fältskiktets skadeklassers fördelning i växtlighetsrutorna. Dessa skadeklasser utgår nämligen direkt från tillståndet hos det objekt som undersöks (fältskiktet). Fältskiktets skadeklasser fördelade sig tyvärr så ensidigt att den inte bedömdes som en god mätare på brandskadan. Skadeklass KK6 var helt dominerande på de hyggesbehandlade ytorna, på kontrollytorna fördelade sig skadeklasserna främst i två klasser (KK0 och KK6).

6.4 Behandlingsresultatets betydelse för växtsuccessionen

Variationer i branddjupet kan ha en långvarig effekt på växtligheten efter brand (Schimmel & Granström 1996). Branddjupet (humuslagrets minskning) varierar i hög grad både inom och mellan ytorna i mitt experiment. Då branddjupet är stort förstörs de jordstammar som finns i humusskiktet, något som är viktigt speciellt för fältskiktets succession. Om växternas jordstammar överlevt branden kommer arter som *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea* och *Deschampsia flexuosa* att dominera det första successionsstadiet. Om en stor del av jordstammarna förstörts kommer successionen däremot att domineras av fröspridda arter som bl.a. duntrav och hallon (Sarvas 1937, Uggla 1958). Med avseende på humuslagrets minskning är den avgörande faktorn för successionen inte minskningen i medeltal per i detta fall provyta, utan den småskaliga variationen inom ytan. Medeltalet och variationen hos humuslagrets minskning kan berätta något om typen av succession som kommer att finnas på ytan; i praktiken kommer resultatet att vara en mosaik av successioner dominerade av olika arter, såsom Sarvas (1937) har observerat på brandytor i norra Finland.

På de ytor där humuslagret minskat i medeltal mest, yta nr. 85, och 203 (30 m³) och 226 (kontr.), kommer andelen ris och gräs antagligen att vara mindre än på de där humuslagret minskade minst (yta nr. 55 och 327 från 60 m³ och 301 representerande 5 m³). På de förstnämnda ytorna kommer istället antagligen olika örter frön lättare att kunna gro och dominera. Med stöd av resultaten från undersökningar av Schimmel (1993) och Vanha-Majamaa m.fl. (1996) kan man också vänta sig att trädplantor kommer att etableras effektivare.

Successionen för bottenskiktets del förväntas vara något mer homogen eftersom de flesta mossorna förstörts mer eller mindre helt i branden (Pharo m.fl. 1999). De före brand allmänna mossorna kommer att ersättas med arter som *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum commune* och *Polytrichum juniperinum*, *Pohlia nutans*, *Funaria hygrometrica* och *Marchantia polymorpha* (Sarvas 1937, Uggla 1958, Hallingbäck & Holmåsen 1995, Ahonen 2000). Så småningom, i takt med att fält-, busk- och trädskiktet utvecklas och mikroklimatet blir gynnsammare, kommer de före brand dominerande moskogsmossorna *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* och *Dicranum* spp. att igen etablera sig (Sarvas 1937, Uggla 1958).

Förutom själva branden påverkar hyggesbehandlingarna ytorna på olika för successionen relevanta sätt. Den ökade instrålningen (som beror på de huggna, bortförda träden) kan leda till att jordstammarna hos fältskiktets växter kan skadas ytterligare, även

om de skulle ha överlevt själva branden (Schimmel & Granström 1993). Eftersom det lämnats lika mycket stående träd i alla behandlingar torde den ökade instrålningen inte på den nivån medföra några markanta skillnader mellan behandlingarna. För mikroklimatet kan dock de olika mängderna fällda träd i de olika behandlingarna betyda att fler skuggtåliga arter kommer att klara sig på 30 m³- och 60 m³-ytorna, vilket kan ha betydelse speciellt för bottenskiktets succession och trädplantornas överlevnad. Ugglå (1958) har konstaterat, att plantor av *Pinus sylvestris* som grodde nära fallna träd på brandytor klarade sig bättre än de som grodde exponerat en bit ifrån.

De träd som lämnats kvar på ytorna har till stor del skadats i branden (opublicerat data). De tappade mycket snart efter branden en hel del av sina barr och kommer antagligen att fortsätta barra ännu en tid. Det är troligt att de flesta kommer att dö helt och efter en tid falla omkull. Den starkt ökade mängden föna kan ha en kvävande effekt på växtligheten.

Bortförande av levande träd genom hyggesbehandling har också konstaterats medföra högre fuktighet i marken. Huruvida denna förhöjda fukthalt på hyggesytorna jämfört med kontrollytorna kommer att fortsätta öka återstår att se. De i hyggesbehandlingarna uppkomna körspåren efter skogsbruksmaskinerna löper åtminstone en risk att bli fuktigare på grund av ihoppackad mark (på själva 20 × 40 m provytorna har dock inga skogsbruksmaskiner kört). Blötare mark för med sig mer fuktälskande växtlighet, och en av effekterna av detta kan vara att små fuktiga biotoper uppkommer på ytorna.

6.5 Fortsatta undersökningar

En av arbetets målsättningar, att utvärdera brandresultatet i syfte att kunna säga något om växtlighetens succession på provytorna, är en fråga som det kommer att finnas ett facit på då successionen fortskrider och något som jag önskar att det skulle insamlas fakta om under en längre period i framtiden. I detta arbete har endast en liten del av det data som insamlats om växtligheten och dess sammansättning använts. För alla växtlighetsrutor har det utöver täckningsgrad insamlats frekvenser för varje art, ett objektivare mått på de i rutan förekommande växternas riklighet. Ett framtida mycket intressant arbete vore att utnyttja även detta material för att undersöka uppkomsten av den mosaikartade strukturen hos växtligheten. Detta kunde genomföras genom att jämföra en noggrannare sammansättning av provytornas växtlighet före brand dels med brandresultatet och dels med den succession

som kommer i gång på ytorna. Man skulle ytterligare kunna belysa de olika behandlingarnas eventuella skillnader och en eventuell accentuering av dem med tiden på detta sätt och även följa med utvecklingen av den stora variationen i resultaten som syns i detta arbete.

Utöver växtligheten finns det intressanta aspekter att följa upp då det gäller övriga artgrupperns förekomst och riklighet på ytorna, trädens överlevnad, etableringen av nya trädplantor, brandens inverkan på marken med mera. En del av dessa aspekter kommer att utredas, andras öde är hittills osäkert. Säkert är dock att denna experimentuppläggning ger möjlighet till många intressanta forskningsarbeten långt in i framtiden.

6.6 Sammanfattning av de viktigaste resultaten

Målsättningen med detta pro gradu-arbete var att undersöka och förklara brandresultatet i experimentets naturvårdsbränningar i syfte att kunna säga något om växtlighetens succession på provytorna.

I arbetets frågeställningar ingick huruvida mängden hyggesrester och lågor gav ökad brandskada, hurdant sambandet mellan humuslagrets fuktighetsgrad och dess konsumtion i branden var samt om det fanns något samband mellan fält- och bottenskiktets artsammansättning och brandresultatet. De viktigaste resultaten är:

- Mellan mängden hyggesrester och brandresultatet kunde inget samband konstateras. Troligt är att det är någon/några andra faktorer än mängden bränsle som haft större inverkan på brandresultatet.
- Hur mängden fällda träd i detalj invekade på brandresultatet är svårt att säga, men på de ytor där 30 m³ träd lämnats på marken minskade humuslagret mest, i medeltal 14,7 mm. Kontrollytorna brann endast fläckvis, men på de fläckar som brann minskade humuslagret relativt mycket.
- Hyggesbehandlingarna befanns inverka på fuktigheten i ytornas humuslager; kontrollytorna med sitt intakta trädskikt hade torrast humuslager, fuktigast var 60 m³-ytorna, därefter 30 m³- och 5 m³-ytorna.
- En korrelation fanns mellan humuslagrets fuktighetsprocent och humuslagrets minskning i branden. Trots en hel del variation torde den allmänna trenden vara klar.
- För mossornas del befanns endast *Pleurozium schreberi* uppvisa skillnader i täckningsgraden mellan de ytor där humuslagret minskat/inte minskat i branden. På

de ytor där humuslagret minskat i branden hade täckningsgraden för *Pleurozium schreberi* varit högre än på de ytor som brunnit sämre. Från bottenskiktet ingick två mossarter; *Pleurozium schreberi* och *Hylocomium splendens* och ett släkte; *Dicranum* spp. i den närmare undersökningen mellan deras täckningsgrad före brand och brandresultatet.

- Bland fältskiktets fyra närmare undersökta arter (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Maianthemum bifolium* och *Deschampsia flexuosa*) fanns det ingen som uppvisade någon korrelation mellan täckningsgrad och mosstäckets minskning i branden. Brandskadeklassfördelningen i fältskiktet tyder på att fältskiktet brunnit helt på de hyggesbehandlade ytorna. Hyggesbehandlingen har alltså medfört att fältskiktet brann och en eventuell inverkan av de olika arterna på brandresultatet fick därför aldrig en chans att synas.

Brandresultatets betydelse för växtsuccessionen är en fråga som inte helt kan besvaras ännu, utan måste utrönas genom fortsatta undersökningar. Variationens omfattning och utveckling på ytorna är intressant frågeställning som också kräver fortsatt arbete. I framtida undersökningar torde också eventuella skillnader hyggesbehandlingarna emellan framträda tydligare, i den mån de existerar.

Det som återkommer i alla enskilda jämförelser mellan de olika parametrarna är att variationen mellan och inom de olika provytorna och behandlingskategorierna är stor. Den stora variationen blir speciellt tydlig då man betraktar variationskoefficienten hos humuslagrets minskning och i fördelningen av brandskadeklasserna i både fält- och bottenskiktet. Då man talar om en så komplex process som en skogsbrand är detta helt naturligt, den stora variationen är skapad av brandtillfället och kommer antagligen att ge upphov till en mosaikartad struktur och en mångsidigare miljö jämfört med utgångsläget på ytorna.

7. TACK

Jag vill framför allt tacka den nyckelperson som erbjudit massor av tålmodig och pedagogisk handledning, ett fint samarbete och givande diskussioner både i och litet utanför ämnet - Saara Lilja. Den hjälpen har varit helt ovärderlig! Utöver detta vill jag också tacka prof. Pasi Puttonen på institutionen för skogsekologi för god kompletterande handledning, samt prof. Carl-Adam Hæggström på institutionen för bio- och miljövetenskaper för hjälp

på vägen och speciellt med att kommentera olika textversioner. För tålmodig hjälp och stöd vid analysering av materialet tackas Annukka Valkeapää. Societas pro Fauna et Flora Fennica, som understött arbetet ekonomiskt, tackas också. Alla de som bidrog till den fina andan och gjorde sommaren i fält i Evois år 2002 oförglömlig är givetvis också värda ett tack!

Litteratur:

- Ahti, T., Hämet-Ahti, L. & Jalas, J. 1968: Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. — *Annales Botanici Fennici* 5:169-211.
- Ahonen, T. 2000: *Sammalten varhaisuknessio avohakkuun, kuloutuksen ja maanmuokkauksen jälkeen*. — Pro gradu-avhandling. Helsingfors universitet.
- Angelstam, P. & Rosenberg, P. 1993: Aldrig Sällan Ibland Ofta. — *Skog & Forskning* 1/93:34-41.
- Bradstock, R. A. & Auld, T. D. 1995: Soil temperatures during experimental bushfires in relation to fire intensity: consequences for legume germination and fire management in south-eastern Australia. — *Journal of Applied Ecology* 32:76-84.
- Brown, J. K., Reinhardt, E. D. & Fischer, W. C. 1991: Predicting Duff and Woody Fuel Consumption in Northern Idaho Prescribed Fires. — *Forest Science* 37: 1550-1566.
- Buch, H. 1945: Ueber die Wasser- und Mineralstoffversorgung der Moose I. — *Commentationes Biologicae* IX. 16:1-44.
- Buch, H. 1947: Über die Wasser- und Mineralstoffversorgung der Moose II. — *Commentationes Biologicae* IX. 20:27-61.
- Byram, G.M. 1959: Combustion of forest fuels. — I: Davis, K.P. (red.), *Forest fire: control and use*. McGraw-Hill, New York. s. 61-89.
- Cajander, A.K. 1929: The theory of forest types. — *Acta Forestalia Fennica* 29:1-108.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. och Williams, D. 1983: *Fire in forestry. Volume I. Forest fire behaviour and effects*. — John Wiley & Sons, New York-Chicester-Brisbane-Toronto-Singapore. 450 s.
- Clements, F. E. 1916: *Plant succession: Analysis of the Development of Vegetation*. — Carnegie Institute of Washington Publication, No. 242. Washington, DC. citerad i: Begon, M., Harper, J. L. & Townsend, C. R. 1996: *Ecology: individuals, populations and communities*. 3. upplagan. — Blackwell Science. s. 710.
- Dahlgren, O. 1943. Svedjenävan (*Geranium bohemicum*) och brandnävan (*Geranium lanuginosum*). — *Svensk Botanisk Tidskrift* 37:127-160.
- Engelmark, O. 1987: Fire history correlations to forest type and topography in northern Sweden. — *Annales Botanici Fennici* 24:317-324.
- Engelmark, O. & Hyttborn, H. 1999: Coniferous forests. — *Acta Phytogeographica Suecica* 84:55-74.
- Esseen, P.-A., Ehnström, B., Ericson, L. & Sjöberg, K. 1997: Boreal Forests. — *Ecological Bulletins* 46:16-47.
- Ennallistaminen 2003: Ennallistaminen suojelualueilla. — *Suomen ympäristö 618*. Miljöministeriet.
- FAO 1988: *FAO-UNESCO Soil map of the world*. Revised legend. FAO, Rom. 79 s.
- Flannigan, M. D. & Harrington, J. B. 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada 1953-80. — *Journal of Applied Meteorology*. 27:441-452.
- Frandsen, W. 1997: Ignition probability of organic soils. — *Canadian Journal of Forest Research* 27:1471-1477.
- Granström, A. 1991: Elden och dess följeväxter i södra Sverige. — *Skog och Forskning* 4:22-31.
- Hallingbäck, T. & Holmåsén, I. 1995: *Mossor – En fälthandbok*. Interpublishing, Stockholm, 288 s.
- Handlingsplan 2002: Handlingsplan för att säkra biodiversiteten i skogarna i södra Finland, västra delen av Uleåborgs län och sydvästra delen av Lapplands län. — *Miljön i Finland 583sv*. Miljöministeriet. 56 s.

- Harper, J. L. 1977: *Population biology of plants*. — Academic Press, London. 892 s.
- Heikinheimo, O. 1915: Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. — *Acta Forestalia Fennica* 4:1-264.
- Hægström, C.-A. 1973: Löväng i omvandling. Växtsuccessions- och markstudier i södra Ålands skärgård. I. Text. II. Bilagor. — 243 s., 25 bil.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Ulvinen, T. & Uotila, P. (red.) 1998. *Retkeilykasvio*. 4. upplagan — Suomen luonnonsuojelun tuki ry., Helsinki. 656 s.
- Jauhianien, H. 1985: Oravanmarja – sokerimarja – kasvaa rehevillä mailla. — *Metsälehti* 19/1985 23.
- Johnson, E. A. 1992: *Fire and vegetation dynamics: Studies from the North American boreal forest*. — Cambridge Univ. Press, Cambridge. 129 s.
- Johnson, E.A. & Miyanishi, K. 2001: *Forest fires, behavior and ecological effects*. — Academic Press, San Diego. 594 s.
- Kaunisto, S. 1965: *Tutkimuksia humuksen kosteusvaihteluista kasvukauden aikana*. — Metsänhoitotieteen laudaturtyö. 54 s. Helsingfors universitet.
- Kolehmainen, V.A. 1951: *Kulottajan opas*. — Keskusmetsäseura Tapio. Helsinki. 47 s.
- Kolström, T. & Kellomäki, S. 1993: Tree survival in wildfires. — *Silva Fennica* 27(4):277-281.
- Krumm, W.R. 1959: Fire Weather. I: Davis, K. P. (edit.) *Forest Fire: Control and Use*. — McGraw-Hill, New York, New York, USA. 584 s.
- Kuuluvainen, T. 2002: Disturbance Dynamics in Boreal Forests: Defining the Ecological Basis of Restoration and Management of Biodiversity. — *Silva Fennica* 36(1):5-11.
- Kuuluvainen, T., Penttinen, A., Leinonen, K. & Nygren, M. 1996: Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forest: an example from spruce-dominated boreal forests in southern Finland. — *Silva Fennica* 30: 315-328.
- Kuuluvainen, T., Syrjänen, K. & Kalliola, R. 1998. Structure of a pristine *Picea abies* forest in north-eastern Europe. — *Journal of Vegetation Science* 9: 563-574.
- Lehtonen, H., Huttunen, P. & Zetterberg, P. 1996: Influence of man on forest fire frequency in North Karelia, Finland, as evidenced by fire scars on Scots pines. — *Annales Botanici Fennici* 33:257-263.
- Lemberg, T. & Puttonen, P. 2002: *Kulottajan käsikirja*. — Metsälehti kustannus 2002. 113 s.
- McRae, D., Alexander, M. & Stocks, B. 1979: *Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook*. — Great Lakes Forest Research Centre. Report 0-X-287. Canadian Forestry Service. 44 s.
- Metsien suojelu 2000: Metsien suojelun tarve Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. Etelä-Suomen ja Pohjamaan metsien suojelun tarve -työryhmän mietintö. — *Suomen ympäristö* 437. Ympäristöministeriö.
- Metsätilastollinen vuosikirja* 2002: — Metsäntutkimuslaitos.
- Miyanishi, K. & Johnson, E.A. 2002: Process and patterns of duff consumption in the mixedwood boreal forest. — *Canadian Journal of Forest Research* 32:1285-1295.
- Naveh, Z. 1974: Effects of Fire in the Mediterranean Region. — I: Kozłowski, T. T. & Ahlgren, C. E. (red.), *Fire and Ecosystems*: 401-434.
- Nelson, R. M. 2001: Water Relations of Forest Fuels. — I: Johnson, E. A. & Miyanishi, K. *Forest fires, behavior and ecological effects*. Academic Press. San Diego. 594 s.
- Niklasson, M. & Granström, A. 2000: Numbers and sizes of fires: long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape. — *Ecology* 81:1484-1499.
- Okko, M. 1972: Jäätikön häviämistapa Toisen Salpausselän vyöhykkeessä Lammilla. — *Terra* 84(3): 115-123.

- Parviainen, J. 1996: Impact of Fire on Finnish Forests in the Past and Today. — *Silva Fennica* 30(2-3): 185-202.
- Pharo, E. J., Beattie, A. J. & Binns, D. 1999: Vascular plant diversity as a surrogate for bryophyte and lichen diversity. — *Conservation Biology* 2:282-292.
- Pitkänen, A. 1999: *Palaeoecological study of the history of forest fires in eastern Finland*. Doktorsavhandling. — Joensuu, Joensuu universitet. 31 s. + bilagor.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1997: *Biometria*. Tilastotiedettä ekologeille. Sjätte upplagan. Yliopistopaino.
- Rassi, P., Alanen, A. & Mannerkoski, I. 2001 (red.): *Suomen lajien uhanalaisuus 2000*. — Edita. Helsinki. 432 s.
- Rowe, J.S. 1983: Concepts of Fire Effects on Plant Individuals and Species. — I: Wein, R.W. & MacLean, D.A. *The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. SCOPE 18 s. 135-154.
- Ryan, K.C. 2002: Dynamic interactions between forest structure and fire behaviour in boreal ecosystems. — *Silva Fennica* 36(1):13-39.
- Sarvas, R. 1937: Havainnot kasvillisuuden kehityksestä Pohjois-Suomen kuloaloilla. — *Silva Fennica* nr. 44.
- Schimmel, J. 1993: *On Fire*. Doktorsavhandling. — Umeå, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Schimmel, J. & Granström, A. 1993: Heat effects on seeds and rhizomes of a selection of boreal forest plants and potential reaction to fire. — *Oecologia* 94:307-313.
- Schimmel, J. & Granström, A. 1996: Fire severity and vegetation response in the boreal Swedish forest. — *Ecology* 77(5):1436-1450.
- Siitonen, J. 1998: Lahopuun merkitys metsämaan monimuotoisuudelle – kirjallisuuskatsaus. — I: Annala, E. (red.), *Monimuotoinen metsä*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 705:131-161.
- Sirén, G. 1955: The development of spruce forests on raw humus sites in northern Finland and its ecology. (Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta.) — *Acta Forestalia Fennica* 62.
- Smith, D.W. & James, T.D. 1978: Characteristics of prescribed burns and resultant short-term environmental changes in *Populus tremuloides* woodland in southern Ontario. — *Canadian Journal of Botany*. 56:1782-1791.
- Sylvester, T.W. & Wein, R.W. 1981: Fuel characteristics of arctic plant species and simulated plant community flammability by Rothermel's model. — *Canadian Journal of Botany* 59: 898-907.
- Tamminen, P. 1991: Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. — *Folia Forestalia* 777:40.
- Tanskanen, H. 2001: *Metsäpalon esiintymisedellytysten muotoutuminen – metsänpohjan kuivuminen ja syttyvyys nuorena VT-männikössä*. — Pro gradu. Joensuu universitet. 37 s.
- Tapio 2000: *Tapion taskukirja*. — Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Jyväskylä 2002. 555 s.
- Tolonen, K., Huttunen, P., Tahvanainen, J., Lindholm, T., Tuominen, S., Tikkanen, O-P., Lappalainen, H. & Lahtinen, J. 1994: *Metsäpalo ekosysteemin rakenteellisen ja lajistollisen monimuotoisuuden sekä sukkession säätelijänä*. — Loppuraportti Suomen Akatemian maatalous- metsätieteelliselle toimikunnalle 28.2.1994.
- Tolonen, M. 1978: Palaeology of Lake Ahvenainen, S. Finland. Pollen and charcoal analysis and their relation to human impact. — *Annales Botanici Fennici* 15 1-208.

- Tonteri, T. & Siitonen, J. 2001: Lahopuu talousmetsissä valtakunnan metsien 9. inventoinnin tulosten mukaan – vertailu luonnonmetsiin. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedontantoja* 812:57-72.
- Tuomikoski, R. 1948: Kangasmetsiemme sammalikosta. — *Luonnon Tutkija* 52: 76-82.
- Uggla, E. 1957: Mark- och lufttemperaturer vid hyggesbränning samt eldens inverkan på vegetation och humus. — *Norrlands skogsvårdsförbunds tidskrift*. 29:443-500.
- Uggla, E. 1958: Skogsbrandfält i Muddus nationalpark. — *Acta Phytogeographica Suecica*. 41:1-116.
- Vanha-Majamaa, I., Tuittila, E.-S., Tonteri, T. & Suominen, R. 1996: Seedling establishment after prescribed burning of a clear-cut and a partially cut mesic boreal forest in Southern Finland. — *Silva Fennica* 30(1):31-45.
- Vanha-Majamaa, I., Salemaa, M., Tuominen, S. & Mikkola, K. 2000: Digitized photographs in vegetation analysis – a comparison of cover estimates. — *Applied Vegetation Science* 3:89-94.
- Van Wagner, C.E. 1983: Fire Behaviour in Northern Conifer Forests and Shrublands. — I: Wein, R.W. & MacLean, D.A., *The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. SCOPE 18 s. 65-80.
- Van Wagner, C.E. 1988: Effect of slope on fires spreading downhill. — *Canadian Journal of Forest Research*. 18:818-820.
- Vasander, H. & Lindholm, T. 1985: Fire intensities and surface temperatures during prescribed burning. — *Silva Fennica* 19(1): 1-15.
- Vesijaon 1995: *Vesijaon tutkimusalue. Hoito- ja käyttösuunnitelma 1994-2003*. — METLAN tutkimusmetsien julkaisusarja. Vanda 1995. 43 s.
- Vesterinen, T. 2002: *Metsänpohjan kuollut puuaines ja sen ennustettu vaikutus metsäpallon suhteelliseen intensiteettiin*. — Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. 55 s.
- Viro, P. J. 1952: Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(3):23.
- Viro, P. J. 1969. Prescribed burning in Forestry. — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67.7:1-49.
- Whittaker, R. H. 1953: A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern. — *Ecological Monographs* 23:41-78.
- Wikars, L.-O. 1992: Skogsbränder och insekter. — *Entomologisk tidskrift* 113(4):1-11.
- Wikars, L.-O. & Schimmel, J. 2001. Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. - *Forest Ecology and Management* 141(2001):189-200.
- Zackrisson, O. 1977: Influence of forest fires on the North Swedish boreal forest. — *Oikos* 29:22-32.
- Zackrisson, O. & Östlund, L. 1991: Branden formade skogslandskapets mosaik — *Skog och Forskning* 4:13-21.