



***Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella  
Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen***  
*English summary*

*Toim./Red.  
Hannu Raitio*



*Merenkurkun neuvosto  
Kvarkenrådet*





*Projektin vetäjät/Projektledarna  
Svante Lindroth Hannu Raitio  
Kuva/Foto: Erkki Oksanen*

**Kansikuva/Omslagsfoto**

*Lappörrarnan länsirannan rantalepiköitä, jotka maan kohotessa väistyvät kuusen tieltä. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Vid Lappörrarnas västra strand växande albestånd, som ger vika för granen när marken höjer sig. Foto: Erkki Oksanen.*

*Harsuuntunut kuusikko Raippaluodon Norra Vallgrundissa. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Ett utglesat granbestånd vid Norra Vallgrund på Replot. Foto: Erkki Oksanen.*

***Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella  
Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarckenregionen  
English summary***

*Toim./Red.  
Hannu Raitio*



*Merenkurkun neuvosto  
Kvarckenrådet*

Copyright © 1996  
Kirjoittajat/Författarna  
Piirtäjä/Tecknaren  
Valokuvaajat/Fotograferna

Toimittaja/Redaktör  
Hannu Raitio

Käännökset/Översättning  
Peter Edén  
Markus Hartman  
Heikki Heinämäki  
Ritva Holmfors  
Kristian Karlsson  
Erkki Pekkinen (eng.)

Kieliasu/Språkgranskning  
Svante Lindroth  
Hannu Raitio

Piirroket/Figurer  
Tuire Kilponen

Kartat/Kartor  
Peter Lidström  
Christina Strömberg

Valokuvaus/Foto  
Erkki Oksanen  
Hannu Raitio

Taitto/Redigering  
Tuire Kilponen

Kustannus/Utgivare  
Merenkurkun neuvosto/Kvarkenrådet

Kirjapaino/Tryck  
Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1996

ISBN  
951-53-0624-8

# Sisällys

## Innehåll

<b>Alkusanat</b> .....	4
<b>Inledning</b> Hannu Raitio	
<b>Tausta, tavoitteet ja toteutus</b> .....	6
<b>Bakgrund, målsättning och genomförande</b> Hannu Raitio & Svante Lindroth	
<b>Rannikkometsien historia</b> .....	13
<b>Kustskogarnas historia</b> Peter Mattbäck & Svante Lindroth	
<b>Kallio- ja maaperä</b> .....	21
<b>Berg och jord</b> Alf Björklund, Peter Edén, Lennart Mattsson & Jan Sjöström	
<b>Ilmasto</b> .....	31
<b>Klimat</b> Päivi Merilä, Lennart Mattsson & Jan Sjöström	
<b>Päästöt, ilman laatu ja laskeuma</b> .....	43
<b>Utsläpp, luftkvalitet och nedfall</b> Christer Lundgren, Lennart Mattsson, Päivi Merilä & Jarmo Osmo	
<b>Merenkurkun alueen kuusikot</b> .....	63
<b>Granskogarnas allmänna tillstånd</b> Hannu Yli-Kojola & Mats Walheim	
<b>Kuusikoiden maaperä</b> .....	71
<b>Granskogarnas marktilstånd</b> Päivi Merilä, Hannu Raitio & Mats Walheim	
<b>Kuusikoiden kasvu</b> .....	83
<b>Granskogarnas tillväxt</b> Kristian Karlsson & Mats Walheim	
<b>Kuusikoiden ravinnetila</b> .....	97
<b>Granskogarnas näringstillstånd</b> Päivi Merilä, Hannu Raitio & Mats Walheim	
<b>Kuusenneulasten solurakenne</b> .....	109
<b>Granbarrens cellstruktur</b> Sirikka Sutinen & Minna Mäenpää	
<b>Harsuuntuminen ja väriviat</b> .....	117
<b>Barrförlust och missfärgning</b> Maija Salemaa, Martti Lindgren & Mats Walheim	
<b>Yhteenvedo</b> .....	127
<b>Sammanfattning</b> Hannu Raitio, Päivi Merilä & Svante Lindroth	
<b>English summary</b> .....	134
<b>Kirjallisuus</b> .....	137
<b>Litteratur</b>	
<b>Julkaisu-uettelo</b> .....	143
<b>Publikationer inom projektet</b>	

## ALKUSANAT

Merenkurkun neuvoston, Vaasan ja Västerbottenin lääninhallitusten aloitteesta perustettiin vuonna 1992 kolmivuotinen tutkimusprojekti, jonka tavoitteena oli kartoittaa kuusikoiden terveydentila ja tutkia siihen vaikuttavia tekijöitä Merenkurkun alueella. Projekti oli osa Merenkurkun neuvoston laajaa ympäristöyhteistyötä ja Metsäntutkimuslaitoksen metsien terveydentilan tutkimusohjelmaa.

Tässä Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden terveydentila-projektin loppuraportissa tarkastellaan kolmen vuoden aikana saavutettuja tuloksia. Ennakkotuloksia on aiemmin esitelty vuosittain erilaisissa tiedotustilaisuuksissa sekä Suomessa että Ruotsissa. Projektin toimesta järjestettiin Vaasassa syksyllä 1994 myös laaja kansainvälinen ympäristöseminaari "Kriittinen kuormitus ja kriittiset raja-arvot", johon osallistui yli 200 eri alojen edustajaa.

Projektin käytännön tutkimustoiminnasta vastasi Ruotsin maatalousyliopiston metsätieteellisen tiedekunnan metsäarvioimistieteen laitos sekä Suomessa Metsäntutkimuslaitos, Vaasan ja Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirit. Hankkeeseen osallistuivat lisäksi Vaasan ja Västerbottenin lääninhallitusten ympäristöosastot. Projektin vastuullisina vetäjinä toimivat tohtori Lars-Gösta Nordén, myöhemmin FL Svante Lindroth (SLU) Ruotsista ja dosentti Hannu Raitio (Metla) Suomesta. Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi toiminnanjohtaja Peter Mattbäck Pohjanmaan (ruots.) metsänhoitoyhdistysten liitosta sekä muina jäseninä projektipäällikkö Paul Lindell Merenkurkun neuvostosta, osastopäällikkö Liisa-Maria Rautio Vaasan vesi- ja ympäristöpiiristä, ylitarkastaja Pirjo-Liisa Nurmela Vaasan lääninhallituksesta, osastopäällikkö Lennart Mattsson Västerbottenin lääninhallituksesta sekä ympäristöpäällikkö Lars Beckman Lyckselenn kunnasta.

Projektimme keskeisiä rahoittajia ovat olleet Pohjoismaiden ministerineuvosto sekä Merenkur-

kun neuvosto. Suomessa projektiamme ovat rahoittaneet lisäksi Metsäntutkimuslaitos, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, Vaasan lääninhallitus, Vaasan vesi- ja ympäristöpiiri (Länsi-Suomen ympäristökeskus), Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri (Keski-Pohjanmaan ympäristökeskus), Kemira Agro Oy Kokkolan tehtaat, Outokumpu Kokkola Zinc Oy, Wisaforest Oy Ab sekä Metsä-Botnia Oy Ab sekä Ruotsissa maatalousyliopiston metsänarvioimistieteen laitos Uumajasta (nykyisin Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik), Kempeftelsen, Västerbottenin maakuntapäivät, lääninhallitus ja kuntainliitto. Projektin kokonaisrahoitus vuosina 1992–95 oli Suomessa 3,0 milj. FIM ja Ruotsissa 2,0 milj. SEK.

Tämä projekti on laajentanut ja syventänyt paitsi suomalaisten ja ruotsalaisten eri alojen tutkijoiden niin myös tutkijoiden ja ympäristöviranomaisien välistä yhteistyötä. Yhteistyötä on syntynyt myös eri toiminnanharjoittajien kanssa. Tämä uudenlainen toimintakulttuuri on mahdollistanut alusta alkaen tutkimustulosten tehokkaan hyödyntämisen.

Esitän parhaimmat kiitokset kaikille projektimme rahoittajille. Kiitän projektin tutkijoita ja kaikkia muita projektin toteuttamiseen osallistuneita henkilöitä hyvästä ja aktiivisesta yhteistyöstä. Parhaimmat kiitokset kuuluvat myös Merenkurkun neuvoston projektipäällikkö Paul Lindellille, joka on kaiken aikaa aktivoinut ja kannustanut kaikkia meitä projektissa työskennelleitä henkilöitä. Loppuraportin käsikirjoituksen ovat lukeneet professori Eino Mälkönen (Metla) ja tohtori Ulf Söderberg (SLU). Ennakkotarkastajille, kielenkääntäjille ja käytännön toimitustyöhön osallistuneille esitän lämpimät kiitokset.

Hannu Raitio  
Toimittaja

## INLEDNING

År 1992 inleddes på initiativ av Kvarkenrådet och länsstyrelserna i Vasa och Västerbottens län ett treårigt forskningsprojekt med målsättning att kartlägga granskogarnas hälsotillstånd och de faktorer som påverkar dem i Kvarkenregionen. Projektet utgör därmed även en del av Kvarkenrådets omfattande miljösamarbete och av Skogsforskningsinstitutets "Forskningsprogram för skogens hälsotillstånd" i Finland.

I denna slutrapport för projektet "Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen" redovisas resultaten efter tre års forskning. Projektresultaten har hittills presenterats årligen vid olika slags seminarier mellan forskare och myndigheter i både Finland och Sverige. Inom projektets ram anordnades även ett omfattande, internationellt miljöseminarium "Kritisk belastning och kritiska gränsvärden" i Vasa hösten 1994, i vilket över 200 företrädare för olika verksamheter deltog.

Institutionen för skogstaxering vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Skogsforskningsinstitutet i Finland (Metla) samt Vasa och Karleby vatten- och miljödistrikt står för den praktiska forskningsverksamheten. Även miljöenheterna vid Vasa och Västerbottens läns länsstyrelser deltar i projektet. Skog Dr Lars-Gösta Nordén, och senare FL Svante Lindroth (SLU) från Sverige och docent Hannu Raitio (Metla) från Finland har varit som ansvariga projektledare. Verksamhetsledare Peter Mattbäck från Österbottens skogsvårdsföreningars förbund är ordförande i projektets ledningsgrupp. Andra medlemmar är projektledare Paul Lindell från Kvarkenrådet, avdelningschef Liisa Maria Rautio från Vasa vatten- och miljödistrikt, överinspektris Pirjo-Liisa Nurmela från Vasa Länsstyrelse, avdelningschef Lennart Mattsson från Västerbottens länsstyrelse samt miljöchef Lars Beckman från Lycksele kommun.

Nordiska ministerrådet och Kvarkenrådet har varit centrala finansörer i vårt projekt. I Finland

har projektet dessutom finansierats av Skogsforskningsinstitutet, jord- och skogsbruksministeriet, miljöministeriet, Vasa länsstyrelse, Vasa vatten- och miljödistrikt (Västra Finlands miljöcentral), Karleby vatten- och miljödistrikt (Mellersta Österbottens miljöcentral), Kemira Agro AB:s Karleby fabriker, Outokumpu Kokkola Zinc AB, Wisaforest AB och Metsä-Botnia AB, samt i Sverige av institutionen för skogstaxering (numera institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik) vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå, Kempestiftelsen, Västerbottens landsting, Länsstyrelsen i Västerbottens län och Kommunförbundet Västerbotten. Den totala kostnaden för projektet under åren 1992–95 uppgick i Finland till 3,0 milj. FIM och i Sverige till 2,0 milj. SEK.

Forskningsprojektet har utvidgat och fördjupat samarbetet inte bara mellan finländska och svenska forskare på olika områden, utan också mellan forskarna och miljömyndigheterna. Samarbete har även skett med olika verksamhetsidkare. Denna nya verksamhetskultur har möjliggjort att forskningsresultaten kunnat utnyttjas effektivt redan i projektets början.

Jag framför ett varmt tack till alla våra finansörer. Jag vill tacka forskarna i projektet, samt alla andra personer som deltagit i projektets genomförande för ett gott och aktivt samarbete. Mitt största tack vill jag rikta till Paul Lindell, projektledare vid Kvarkenrådet, som hela tiden har aktiverat och inspirerat oss alla i projektet verkamma personer. Slutrapportens manuskript har granskats av professor Eino Mälkönen (Metla) och Skog Dr Ulf Söderberg (SLU). Även till förhandsgranskarna och till översättarna samt till alla som bidragit vid det praktiska redigeringsarbetet framför jag ett varmt tack.

Hannu Raitio  
Redaktör

# TAUSTA, TAVOITTEET JA TOTEUTUS

Hannu Raitio & Svante Lindroth

## Tausta

Suomen ja Ruotsin metsävarat ovat kehittyneet viime vuosikymmeninä ennakoitua paremmin. Samalla kun huoli metsien riittävydestä on hälvennyt, on huoli niiden elinvoimaisuuden ja monimuotoisuuden säilymisestä lisääntynyt. Epävarmuutta metsien tulevasta kehityksestä aiheuttavat erityisesti ilman epäpuhtauksista aiheutuva kuormitus sekä ilmastonmuutos.

Merenkurkun rannikko ja saaristo on paikallisista olosuhteista johtuen varsin omaleimaista. Merkittävin kasvillisuuteen vaikuttava luontainen tekijä sekä Pohjanmaan että Västerbottenin rannikolla on maankohoaminen. Pohjanlahden länsi- ja itäpuoliset alueet poikkeavat kuitenkin ilmastoltaan sekä ihmisen toiminnan aiheuttamien, metsiin kohdistuvien rasitusten osalta toisistaan.

Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden kunto on herättänyt etenkin Suomessa (esim. Appelroth 1948) huomiota jo vuosikymmenet. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole ollut käytettävissä tutkittua tietoa siitä, mikä kuusikoiden todellinen tila on ja miten paikalliset olosuhteet ja ihmisen toiminta vaikuttavat kuusikoiden terveydentilaan Merenkurkun alueella. Tästä syystä Merenkurkun neuvoston sekä Vaasan ja Västerbottenin lääninhallitusten aloitteesta perustettiin vuonna 1992 kolmivuotinen tutkimusprojekti "Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden terveydentila".

Merenkurkun neuvosto on pohjoismainen raja-alueyhteistyöelin, jonka toimialueena on Vaasan ja Västerbottenin läänit sekä Örnköldsvikin kunta. Yhteistyötä on eri aloilla: liikenneyhteydet, elinkeinoelämä, ympäristö, kulttuuri, koulutus sekä yksityiset ja julkiset palvelut. Neljä ensimmäistä ovat painopistealoja, joista ympäristöyhteistyö on viime vuosina kehittynyt nopeimmin. Yhteistyön tärkeimpiä osapuolia ovat kunnat, lääninhallitukset, Vaasan läänin maakunnalliset liitot, Västerbot-

tenin maakäräjät sekä Föreningen Norden Ruotsin ja Pohjola-Norden Suomen puolella Merenkurkua. Käytännössä toiminta tapahtuu pääosin ajan ja paikan suhteen rajatuissa projekteissa. Tällä hetkellä rahoitetaan noin 12 projektia 9 milj. markalla. Rahoituksesta vajaa kolmannes tulee Pohjoismaiden ministerineuvoston kautta, loput saadaan kunnilta, lääninhallituksilta, maakunnallisilta liitoilta, Västerbottenin maakäräjiltä, elinkeinoelämältä sekä muilta paikallisilta ja alueellisilta järjestöiltä. Vuodesta 1995 lukien Merenkurkun alue on kuulunut myös EU:n tukemaan nk. INTERREG-yhteistyöhön.

## Tavoitteet

Projektin tavoitteena oli

1. kartoittaa ja täydentää tietoja ilman epäpuhtauksien päästöistä, pitoisuuksista ja laskeumasta Merenkurkun alueella,
2. kartoittaa Merenkurkun rannikon ja saariston kuusimetsien terveydentila ja luoda pohja näiden alueiden metsien terveydentilan pitkänajan seurannalle,
3. analysoida vallitsevien ympäristöolojen vaikutuksia kuusikoiden terveydentilaan,
4. tarkastella kriittisen kuorman ja kriittisten raja-arvojen käsitteitä,
5. kehittää metsien terveydentilaa kuvaavia tunnuksia ja puustovaurioiden syiden analysointia sekä
6. tehostaa tutkijoiden keskinäistä sekä tutkijoiden ja ympäristöviranomaisten välistä yhteistyötä, samoin kuin tutkimustulosten tunnetuksi tekemistä.

# BAKGRUND, MÅLSÄTTNING OCH GENOMFÖRANDE

Hannu Raitio & Svante Lindroth

## Bakgrund

Under de senaste årtiondena har skogstillgångarna i Finland och Sverige utvecklats bättre än väntat. Medan oron för skogstillgångarna har minskat, har oron för deras vitalitet och diversitet ökat. Det är speciellt en ökad belastning av luftföroreningar och farhågor för klimatförändring som vållar osäkerhet om skogarnas framtida utveckling.

De lokala förhållandena gör att Kvarkenområdets kust och skärgård är synnerligen exceptionella. Landhöjningen är den mest betydande naturliga faktorn som påverkar vegetationen. Detta gäller för såväl Österbottens som Västerbottens kustområden. Områdena på Bottniska vikens västra och östra kuster skiljer sig emellertid från varandra både när det gäller klimatet och den belastning på skogarna som försakas av mänsklig verksamhet.

Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenområdets kust och skärgård har väckt intresse i årtionden, speciellt i Finland (t.ex. Appelroth 1948). Tillsvidare har det dock inte funnits tillgängliga fakta om granskogarnas egentliga hälsotillstånd och om hur de lokala förhållandena och den mänskliga verksamheten påverkar granskogarnas vitalitet inom Kvarkenområdet. Därför inleddes år 1992 ett samnordiskt, treårigt forskningsprojekt "Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen" på initiativ av Kvarkenrådet samt av länsstyrelserna i Vasa län och Västerbottens län.

Kvarkenrådet är nordiskt gränsregionalt samarbetsorgan för Vasa län i Finland samt Västerbottens län jämte Örnsköldsviks kommun i Sverige. Samarbetet omfattar kommunikationer, näringslivs, miljö, kultur-utbildning samt privata och offentliga tjänster. De fyra förstnämnda är prioriterade sektorer. Miljösamarbetet har de senaste åren utvecklats snabbast. Samarbetets huvudmän är kommuner, länsstyrelser, de regionala utvecklings-

myndigheterna i Vasa län, Landstinget i Västerbotten samt Föreningen Norden i Västerbotten och Pohjola-Norden i Vasa län. Verksamheten sker i huvudsak i projektform med tids- och innehållsmässigt avgränsade projekt. Den ekonomiska omfattningen av samarbetet är f.n. cirka 9 milj. FIM i drygt dussinet projekt. Samarbetet finansieras till knappt en tredjedel via Nordiskt Ministerråd. Resterande finansiering kommer från kommuner, länsstyrelser, regionala utvecklingsmyndigheter, landsting, näringslivet och övriga lokala och regionala aktörer. Från ingången av 1995 är Kvarkenregionen en del av det EU-stödda INTERREG-samarbetet.

## Målsättning

Projektets målsättning var

1. att kartlägga och utvidga data om utsläpp, koncentrationer och nedfallsmängder av luftföroreningar i Kvarkenregionen,
2. att kartlägga granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen och skapa en bas för den långsiktiga uppföljningen av skogarnas hälsotillstånd i dessa områden,
3. att utreda de rådande miljöförhållandenas inverkan på granskogarnas hälsotillstånd,
4. att precisera begreppen kritisk belastning och kritiska gränsvärden,
5. att utveckla kännetecknen som beskriver skogarnas hälsotillstånd och metoder för analys av skador på träbeståndet samt
6. att intensifiera samarbete mellan forskare inbördes och mellan forskare och miljömyndigheter, och att göra forskningsresultaten kända.

## Toteutus

Tutkimushankkeessa tarkasteltiin samapaikkaisesti kuusikoiden kasvua, terveydentilaa ja vallitsevia ympäristöoloja sekä eri tekijöiden keskinäisiä vuorosuhteita. Tätä varten tehtiin päästöselvityksiä, mitattiin laskeumaa, ilman laatua, puuston kasvua ja terveydentilaa kuvaavia tunnuksia sekä analysoitiin maaperän fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia 53 havaintokuusikossa, joista 33 sijaitsi Vaasan ja 20 Västerbottenin läänin rannikolla (kuva 1).

Suomen puolelta kuusivaltaiset havaintometsiköt valittiin valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin koealoista Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueelta. Kuusikot jakautuivat likimain tasan kolmeen ikäryhmään, 50-, 50–80- ja yli 80-vuotiaisiin metsiköihin. Metsiköt ovat mustikka- tai käenkaali-mustikkatyyppiä.

Ruotsin puoleisista 20 metsiköstä viisi valittiin subjektiivisesti ja ne kuuluvat osana Västerbottenin lääninhallituksen ympäristötilan seuranta-averkoston ja sijaitsevat eri puolilla lääniä. Näistä viidestä kuusivaltaisesta metsiköstä kerätään jatkuvatoimisesti sekä laskeuma- että maavesinäytteitä. Loput 15 metsikköä valittiin Ruotsin valtakunnan metsien inventoinnin pysyvistä koealoista. Valintaperusteina olivat kuusivaltaisuus, yli 40 vuoden ikä sekä rannikon läheinen sijainti. Koska erilaisten näytteiden otto on kiellettyä varsinaisilta inventoinnin koealoilta, tässä tutkimuksessa tarvittava aineisto kerättiin noin 20 m:n etäisyydeltä varsinaisista koealoista. Ruotsin puolen 20 havaintokuusikosta kolme sijaitsee läänin keski- ja länsiosissa, nk. lappmarkenin alueella ja loput 17 kuusikkoo rannikolla (kuva 1).



*Sadevesikeräimien ja karikesuppiloiden avulla kerätään näytteitä kemiallisia analyysjää varten. Havaintokuusikko Norra Vallgrundissa Raippaluodossa. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Med hjälp av regnvattensamlare och förnatratter samlas proven för kemiska analyser. Intensivprovyta vid Norra Vallgrund, på Replot. Foto: Erkki Oksanen.*



**Kuva 1.** Merenkurkun alue ja havaintokuusikoiden sijainti. Keltaiset kolmiot edustavat lääninhalituksen ja punaiset neliöt projektin havaintokuusikoita.

**Figur 1.** Kvarkenregionen och lokaliseringen av provytor. Gula triangler är länsstyrelsens och röda kvadrater projektets provytor.

## Genomförande

I forskningsprojektet har man koncentrerat sig på att analysera tillväxt och hälsotillstånd hos granskogarna och de rådande miljöförhållandena samt de inbördes relationerna mellan olika faktorer inom samma provytor. För detta ändamål har utredningar gjorts angående utsläpp, nedfallsmängder, luftkvalitet, tillväxt och hälsotillstånd hos trädbestånd och kännetecken för dem, samt om jordmånens fysikalisk-kemiska egenskaper i 53 provytor, av vilka 33 st är belägna i Vasa läns kustområde och 20 i Västerbotten (figur 1).

I Finland har man valt grandominerade provytor inom Österbottens skogsnämnds område. Dessa ingick som tillfälliga provytor i den åttonde finska riksskogstaxeringen. En tredjedel av granskogarna är här under 50 år, lika många är 50–80 år och resten är över 80 år gamla. Skogstyperna är av blåbärs- eller harsyre/blåbärstyp.

I Sverige ingår 20 provytor i studien. Fem ytor är subjektivt valda och används av länsstyrelsen i Västerbotten i dess regionala miljöövervakning. De fem ytorna är belägna på skogsmark med gran som klart dominerande trädslag, och är spridda över hela Västerbotten. Här görs fortlöpande alla depositionmätningar, och prover av markvatten samlas in med hjälp av lysimetrar. Resterande femton provytor ingår i det permanenta provytenätet vid den svenska riksskogstaxeringen (RT). Dessa femton ytor valdes ut eftersom de var grandominerade, beståndsåldern var >40 år och då de låg inom det definierade kustområdet. Destruktiv provtagning är ej tillåten på provytorna, varför en extra yta lades ut 20 meter från den ordinarie provytan. Av de 20 provytorna ligger tre inom länets mellersta och västra delar, d.v.s. lappmarken, och 17 ytor ligger inom det s.k. kustlandet (figur 1).

## Projektin tutkijat ja artikkelien kirjoittajat

Alf Björklund, prof., Åbo Akademi, Institutionen för geologi och mineralogi, FIN-20500 Turku  
Peter Edén, FT, Åbo Akademi, Institutionen för geologi och mineralogi, FIN-20500 Turku  
Kristian Karlsson, MMM, Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, FIN-69101 Kannus  
Marti Lindgren, FK, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, FIN-01301 Vantaa  
Svante Lindroth, FL, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-90186 Umeå  
Christer Lundgren, geologi, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-90186 Umeå  
Peter Mattbäck, toiminnanjohtaja, Pohjanmaan (ruots.) metsähoitoyhdistysten liitto, Pitkätie 38 C, FIN-65100 Vaasa  
Lennart Mattsson, osastopäällikkö, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-901 86 Umeå  
Päivi Merilä, MMM, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, FIN-01301 Vantaa  
Minna Mäenpää, FK, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, Juntintie 40, FIN-77600 Suonenjoki

Pirjo-Liisa Nurmela, ylitarkastaja, Länsi-Suomen ympäristökeskus, PL 262, FIN-65101 Vaasa  
Jarmo Osmo, FK, Länsi-Suomen ympäristökeskus, PL 262, FIN-65101 Vaasa  
Hannu Raitio, FT, Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema, Kaironiementie 54, FIN-39700 Parkano  
Liisa-Maria Rautio, TKL, Länsi-Suomen ympäristökeskus, PL 262, FIN-65101 Vaasa  
Maija Salemaa, FL, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, FIN-01301 Vantaa  
Jan Sjöström, geologi, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-90186 Umeå  
Sirikka Sutinen, FT, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, Juntintie 40, FIN-77600 Suonenjoki  
Mats Walheim, metsänhoitaja, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning och geometik, S-90183 Umeå  
Hannu Yli-Kojola, MMM, Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Unioninkatu 40 A, FIN-00170 Helsinki

## Forskarna och artikelförfattarna inom projektet

Alf Björklund, prof., Åbo Akademi, Institutionen för geologi och mineralogi, FIN-20500 Åbo  
Peter Edén, FT, Åbo Akademi, Institutionen för geologi och mineralogi, FIN-20500 Åbo  
Kristian Karlsson, AFK, Skogsforskningsinstitutet, Kannus forskningsstation, PB 44, FIN-69101 Kannus  
Marti Lindgren, FK, Skogsforskningsinstitutet, Vanda forskningscentral, PB 18, FIN-01301 Vanda  
Svante Lindroth, FL, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-90186 Umeå  
Christer Lundgren, naturgeograf, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-90186 Umeå  
Peter Mattbäck, verksamhetsledare, Österbottens skogsvårdsföreningars förbund, Storalånggatan 38 C, FIN-65100 Vasa  
Lennart Mattsson, avdelningschef, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-90186 Umeå  
Päivi Merilä, AFM, Skogsforskningsinstitutet, Vanda forskningscentral, PB 18, FIN-01301 Vanda  
Minna Mäenpää, FK, Skogsforskningsinstitutet, Suonenjoki forskningsstation, Juntintie 40, FIN-77600 Suonenjoki

Pirjo-Liisa Nurmela, överinspektris, Västra Finlands Miljöcentral, PB 262, FIN-65101 Vasa  
Jarmo Osmo, FK, Västra Finlands Miljöcentral, PB 262, FIN-65101 Vasa  
Hannu Raitio, FT, Skogsforskningsinstitutet, Parkano forskningsstation, Kaironiementie 54, FIN-39700 Parkano  
Liisa-Maria Rautio, TKL, Västra Finlands Miljöcentral, PB 262, FIN-65101 Vasa  
Maija Salemaa, FL, Skogsforskningsinstitutet, Vanda forskningscentral, PB 18, FIN-01301 Vanda  
Jan Sjöström, naturgeograf, Länsstyrelsen, Västerbottens län, S-90186 Umeå  
Sirikka Sutinen, FT, Skogsforskningsinstitutet, Suonenjoki forskningsstation, Juntintie 40, FIN-77600 Suonenjoki  
Mats Walheim, jägmästare, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, S-90183 Umeå  
Hannu Yli-Kojola, AFM, Skogsforskningsinstitutet, Helsingfors forskningscentral, Unionsgatan 40 A, FIN-00170 Helsingfors



# RANNIKKOMETSIIEN HISTORIA KUSTSKOGARNAS HISTORIA

Peter Mattbäck & Svante Lindroth

*Rannikkometsien historia on suurelta osin samankaltainen molemmin puolin Merenkurkkua. Rannikolle on ominaista maan kohoaminen ja sen aiheuttamat muutokset kasvillisuudessa. Merestä kohoavan maan kasvillisuus noudattaa selvää korkeussuuntaista vyöhykkeisyyttä. Harmaaleppä on ensimmäinen puulaji, joka ilmestyy merestä kohonneille maa-alueille. Noin sadan vuoden kuluessa merestä kohonnut maa on muuttunut kuusen kasvulle suotuisaksi. Myöhemmin kasvuolot myös kuusen kannalta vähitellen heikkenevät.*

*Metsien käyttö on ollut hyvin samankaltaista molemmin puolin Merenkurkkua, vaikkakaan ei aina välttämättä ihan samoihin aikoihin. Lähinnä rannikkoa sijaitseviin metsiin ovat eniten vaikuttaneet laiduntaminen ja maanviljely, kun taas kauempana sisämaassa metsiä on hyödynnetty tervan- ja potaskanpolttoon, puuhiilen valmistukseen, laivanrakennukseen ja sahatoimintaan.*

*Kustskogarnas historia i Kvarkenregionen uppvisar stora likheter mellan Finland och Sverige. Bägge ländernas kustområden karakteriseras av landhöjning och en därmed sammanhängande kolonisation av nya marker, vilken avspeglar sig i vegetationszoneringen. Det första trädslaget på de nya marker som stiger upp ur havet i Kvarkenregionen är normalt gråal. Under de därpå följande 100 åren sker förändringar i marken som gör att växtförhållandena för gran blir mycket gynnsamma. Senare blir förhållandena efter hand mindre gynnsamma också för gran.*

*Utnyttjandet av skogen har varit likartat på bägge sidor av Kvarken, även om det tidsmässigt funnits skillnader. Närmast kusten har skogen påverkats mest av bete och jordbruk, medan skogen i områdena längre in i landet mest har utnyttjats för tjär- och pottaskebränning, kolning, skeppsbyggnad och av sågverk.*

*Tervanpolttto on vaikuttanut merkittävästi metsien tilaan molemmin puolin Merenkurkkua. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Tjärbränning har märkbart påverkat skogens tillstånd på bägge sidor om Kvarken. Foto: Erkki Oksanen.*

## Rannikko alituksessa muutoksessa

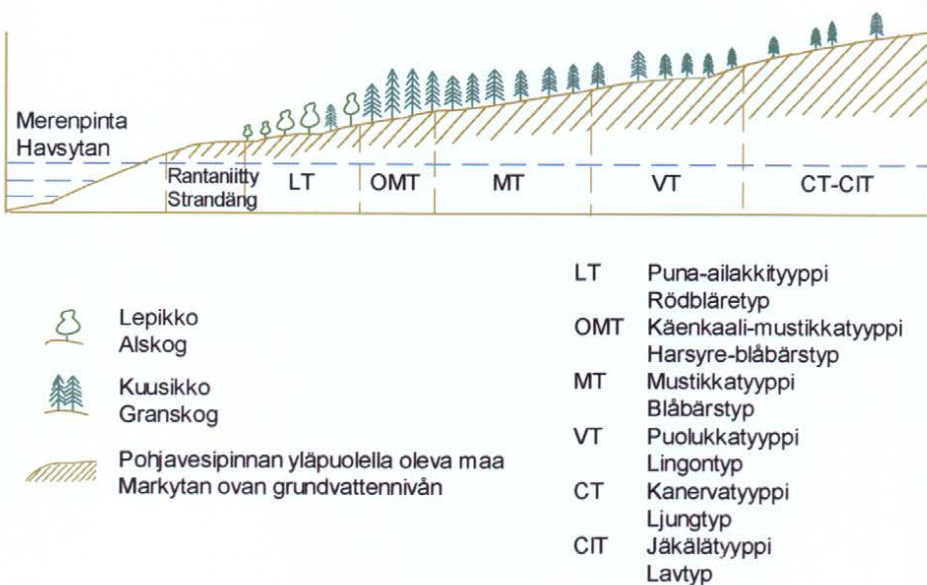
Rannikko molemmin puolin Merenkurkkua on melko tasaista ja maankohoamisen johdosta alituksessa muutoksessa. Merestä kohoavan maan kasvillisuus noudattaa selvää korkeussuuntaista vyöhykkeisyyttä. Ensimmäisinä kasveina merestä kohoavan maan valtaavat vesikasvit ja sen jälkeen rannan putkilokasvit. Harmaaleppä on yleensä ensimmäinen puulaji, joka ilmestyy merestä kohoaneille maa-alueille, kun maa on kohonnut runsaat 20 cm keskimääräisen vedenpinnan yläpuolelle. Harmaaleppä sietää kuitenkin ajoittaisia korkean veden aikana esiintyviä tulvia. Harmaaleppän leviäminen saaristoon ei tapahdu tasaisesti, vaan useimmiten jaksottain. Joinakin suotuisina vuosina syntyy runsaasti taimia, kun taas toisina vuosina taimia ei synny lainkaan.

Harmaaleppän taimet kasvavat hyvin nopeasti, mistä syystä se valloittaa uuden maan nopeasti ja antaa toisille kasville hyvin pienen mahdollisuuden kilpailla kanssaan. Harmaaleppän kiertoaika on kuitenkin hyvin lyhyt, jo 50 vuotiaana se alkaa rapistua. Merenkurkun rannikolla kasvaa ainoastaan

yksi harmaaleppäsukupolvi, jonka jälkeen tulee lähes poikkeuksetta kuusi (kuva 2).

Havupuut ovat herkkiä korkean veden aikaisille tulville päinvastoin kuin harmaaleppä. Siksi harmaalepällä on melkein yksinoikeus vesijättömaalla, kunnes maa on kohonnut noin metrin yli keskimääräisen merenpinnan yläpuolelle. Ensimmäisen sadan vuoden kuluessa merestä kohonnut maa muuttuu kuusen kasvulle suotuisaksi, tällöin kuusi alkaa tunkeutua kuolevan harmaalepikon alle. Leppävyöhykkeen takana kuusi valloittaa maan, kun tulvat korkean veden aikana eivät enää tukahduta taimia. Suuresta valontarpeestaan johtuen mänty ja koivu eivät tässä vaiheessa pysty kilpailemaan kuusen kanssa valta-asemasta. Ainoastaan merestä kohoaneilla hiekka- ja soramailla männällä on mahdollisuus olla uuden maa-alueen ensimmäinen havupuu (Appelroth 1948).

Harmaalepikon ympäröimä koivikko voi syntyä ainoastaan laajan, nopeasti merestä kohoaneen, tasaisen alueen sisäosiin, koska koivun siemenet kykenevät lentämään paljon kauemmaksi kuin



**Kuva 2.** Kaavamainen esitys kasvillisuuden sukkessiosta Merenkurkun rannikolla ja saaristossa (Appelroth 1948).

**Figur 2.** Schematiserad framställning av den ekologiska successionen i Kvarkens kustland (Appelroth 1948).

## Kust i ständig förändring

Kusten på bägge sidor om norra Kvarken är mycket flack, och på grund av landhöjningen stadd i ständig förändring. Vegetationszoneringen avspeglar landhöjningen. De första växterna, som småningom invandrar till landhöjningsmarken är vattentåliga växter och därefter kommer fastmarksväxterna. Det första trädslaget på de nya marker när marken har höjt sig drygt 20 cm över medelvattennivån, är normalt gråal. Gråalen tål tillfälliga översvämningar i samband med högvatten. Dess invandring sker inte i jämn takt, utan ofta i intervall. De år förhållandena är gynnsamma för gråalens spridning uppkommer en stor mängd plantor.

Gråalens plantor är mycket snabbväxande, vilket bidrar till att den dominerar de nya markerna och ger små möjligheter för andra växter att konkurrera. Men gråalen har en kort levnadstid. Redan efter 50 år är den utlevd och börjar torka och dö. Längs de Väster- och Österbottniska stränderna förekommer endast en generation gråal. När den generationen börjar dö ersätts den med ett annat trädslag, vilket nästan alltid är gran (figur 2).

I motsats till gråalen är barrträden känsliga för högvatten. Därför har gråalen nästan ensamrätt bland träden på kolonisationsmarkerna tills marken höjt sig cirka en meter över havets medelnivå. Under dessa nästan 100 år av utveckling sker förändringar i marken som gör att växtförhållandena för gran blir mycket gynnsamma och granen börjar tränga in under det bestånd av gråal som håller på att självdö. Bakom gråalsbältet övergår herraväldet över marken således till granen, som tränger in när högvattnet inte mera dränker plantorna.

Tall och björk har med sitt stora ljusbehov små möjligheter att i detta skede kunna konkurrera med granen om herraväldet. Endast i områden där sand- eller grusmarker stiger upp ur havet har tall möjlighet att bli det första barrträdet på de nya markerna (Appelroth 1948).

Ett större flackt område som under en kort tid stigit upp ur havet kan innanför gråalsbältet beskogas med björk. Björkfrön flyger betydligt längre än frön av barrträd, och om det är svag mark kan det senare vara svårt för barrträd att tränga in (Österholm 1977). Färbete på holmar har också hindrat uppkomsten av plantor under björk.

God vattenhushållning, gråalens lätt förmultnande löv och kvistar samt kvävefixerande rötter

gör att marken i albältet är mycket bördig. Men genom att marken översvämmas vid högvatten hindras barrträden från att utnyttja den bördiga marken.

Med landhöjningen förändras vattenhushållningen. Grundvattennivån sjunker och markytan blir torrare. Där jordmånen är grovkornig kan yt-skiktet snabbt urlakas och bli fattigt på näringsämnen. Barr och andra växtdelar bryts ned endast långsamt. De halvt förmultnade växtresterna bildar ett brunt råhumuslager som i vissa förhållanden kan bli 30–40 cm tjockt (Appelroth 1948). Råhumuslagret försvårar självföryngringen och medverkar till att det kan uppstå luckor i skogen när gamla träd dör. Den bonitetsförsämring som försakas av landhöjningen pågår tills landhöjningen inte mera påverkar grundvattennivån, vilket kräver 300–400 år från det att marken börjat stiga upp ur havet.

Trots att markens bonitet på många ställen försämrats så att tall ur virkesproduktionsynpunkt skulle vara ett lämpligare trädslag, behåller granen sin dominerande ställning även på svagare marker. Under de senaste 30 åren har dock skogsbruket strävat till att gynna tallen som främsta trädslag genom förnyelseavverkningar och plantering av tall.

## Lång användningshistoria

Skogarna längs Kvarkens kust har under lång tid utnyttjats av människan. Förutom till byggnader, redskap och bränsle för eget bruk har skogsprodukter varit en viktig handelsvara. Redan från början av 1500-talet finns t.ex. uppgifter om överenskommelse mellan bondeskeppare i Österbotten och borgare i Stockholm om leverans av björknäver som taktäckningsmaterial (Anttila 1980, Jern 1980).

De stora geografiska upptäckterna under 1500-talet medförde en kraftig ökning av antalet träfartyg ute i världen. Träfartygen behövde både trävirke och tjära, och såväl Västerbotten som Österbotten blev snart stora exportörer av tjära. Före 1809 – alltså fram till dess att Finland var en del av det svenska riket – var denna verksamhet störst i Finland. Efter att Finland och Sverige skiljt åt tog dock

havupuun siemenet. Jos maaperä on viljavuudeltaan huonoa voi havupuilla myöhemminkin olla vaikeuksia tunkeutua alueelle (Österholm 1977). Saarien laiduntaminen lampailla on myös osaltaan estänyt koivun alla olevien havupuun taimien synnyn.

Hyvä vesitalous, harmaalepän helposti multautuvat lehdet ja oksat, sekä sen typensidonta tekevät maaperän vähitellen viljavaksi. Korkean veden aikaisten tulvien takia havupuut eivät kuitenkaan kykene valtaamaan tätä osaa rannasta.

Maankohoamisen myötä vesitalous vähitellen muuttuu. Pohjaveden korkeus laskee ja maanpinta kuivuu. Siellä missä maaperä on karkearakeista, pintakerros huuhtoutuu nopeasti, jolloin siitä tulee niukkaravinteinen. Neulaset ja muut kasvinosat



*Laivanrakennus on osaltaan vaikuttanut metsien tilaan Merenkurkun alueella. Kuvassa pohjalaisen laivanrakennustaidon ennallistus 1700-luvulta, Jakobstads Wapen. Kuva: Jukka Lehojärvi.*

*Skeppsbyggnad har påverkat för sin del skogarnas tillstånd i Kvarkenregionen. På bilden en rekonstruktion av österbottnisk båtbyggnadskonst på 1700-talet, Jakobstads Wapen. Foto: Jukka Lehojärvi.*

hajoavat hitaasti. Puolittain multautuneet kasvinjäänteet muodostavat ruskean raakahumuskerroksen, joka paikoin voi olla 30–40 cm paksu (Appelroth 1948). Raakahumuskerros vaikeuttaa metsän luontaista uudistumista ja myötävaikuttaa siihen, että vanhojen puiden kuollessa syntyy aukkoja. Maankohoamisen aiheuttama boniteetin heikkeneminen jatkuu kunnes maankohoaminen ei enää vaikuta pohjaveden tasoon. Tähän kuuluu aikaa noin 300–400 vuotta siitä, kun maa on vapautunut merestä (Appelroth 1948).

Vaikka boniteetti monin paikoin on heikentynyt niin, että mänty puuntuotannon näkökulmasta olisi sopivampi puulaji, on kuusi siitä huolimatta säilyttänyt valta-asemansa heikommillakin kasvupaikoilla. Viimeisten 30 vuoden aikana metsätalous on pyrkinyt kuitenkin suosimaan mäntyä ensisijaisena puulajina uudistushakkuiden ja männyn istuttamisen avulla.

## Pitkä käyttöhistoria

Ihmiset ovat pitkään hyödyntäneet Merenkurkun rannikon metsiä. Paitsi rakennuksiin, työkaluihin ja polttoaineeksi omaan käyttöön, metsien tuotteet ovat olleet tärkeitä kauppatavaroita. Esimerkiksi 1500-luvun alkupuolelta on olemassa kertomuksia pohjalaisten laivureiden ja tukholmalaisten porvareiden välisistä sopimuksista koivuntuohen toimitamisesta kattojen päällysteeksi (Anttila 1980, Jern 1980).

Maantieteelliset löydöt 1500-luvulla lisäsivät voimakkaasti puulaivojen määrää maailmassa. Puulaivat tarvitsivat sekä puutavaraa että tervaa, jolloin sekä Västerbottenin että Pohjanmaan alueesta tuli suuria tervanviejiä. Ennen vuotta 1809 – siis siihen asti, kun Suomi oli osa Ruotsia – tämä toiminta oli laajempaa Suomen puolella. Suomen erottua Ruotsista tervanpoltto lisääntyi Ruotsisakin ja siitä tuli hyvin tärkeä elinkeino. Suomessa tervanpoltto tuhosi paljon mäntymetsiä, mistä syystä valtiovalta varoitti mahdollisuudesta lopettaa koko tervan tuotanto raaka-ainepulan vuoksi.

Potaskan tuotanto oli sekä Suomen että Ruotsin maaseutuväestölle tärkeä sivutulonlähde (Elmberg ym. 1992). Potaskaa käytettiin lasin ja suovan valmistukseen, sitä poltettiin 1700-luvun lopulta 1800-luvun puoliväliin, kunnes muut tuotteet vähitellen korvasivat sen. Potaskanpolton jälkiä – tulen-



*Rannikkometsien sukkessiovaiheita Västerbottenin rannikolla Uumajan edustalla. Kuva: Erkki Oksanen.  
Strandskog i olika successionsstadier utanför Umeå vid Västerbottens kust. Foto: Erkki Oksanen.*

tjärnbränningen fart också i Sverige och blev en mycket betydelsefull näringsgren. I Finland exploaterade tjärbränningen tallskog i så stor omfattning att statsmakten varnade för att hela tjärproduktionen kunde tvingas upphöra på grund av råvarubrist.

Framställning av pottaska var en viktig sidoinkomst för befolkningen på landsbygden i både Sverige och Finland (Elmberg m.fl. 1992). Pottaska användes för framställning av glas och såpa, och brändes från 1700-talets slut fram till mitten av 1800-talet, då andra produkter så småningom ersatte pottaskan. Spår av pottaskebränning – bålplatser, pottaskeugnar och brandlyror – kan fortfarande ses i skogarna i Kvarkenområdet.

Också framställningen av träkol var en viktig sysselsättning – träkol var den viktigaste skogsråvaran inom järnproduktionen. Trots förbättrade produktionsprocesser ökade behovet av kol ända fram till slutet av 1800-talet. Kolningen var till övervägande del en utlokaliserad allmogeverksamhet, som utfördes av bönderna under den del av året

då jordbruket inte krävde all tid. Under 1800-talet utvecklades en teknik som gjorde att träkol ersattes av stenkol, varför behovet minskade. Men träkol var ännu under 1900-talet en betydelsefull vara, speciellt under krigsåren (Elmberg m.fl. 1992). Även i Österbotten framställdes träkol, men inte i samma omfattning som på den svenska sidan av Kvarken.

Behovet av virke i de industrialiserade delarna av Europa medförde en kraftig utbyggnad av vattensågarna längs älvarna. Under 1600- och 1700-talen var sågverksindustrin hårt reglerad i Sverige, men 1800-talets liberaliseringar gjorde det lättare att starta nya företag. År 1812 fick städerna på den svenska sidan fullständiga rättigheter att exportera virket direkt. Därefter ökade exporten kraftigt. En förutsättning för sågverksindustrins framväxt var också att flottningslederna byggdes ut. Detta är dock numera en avslutad epok – den sista flottningen i t.ex. Umeälven gjordes 1980 (Sörlin 1981). Efter att de första ångsågarna startade på ömse sidor om Kvarken vid 1800-talets mitt, var

pohjia, potaskauuneja ja palokoroja – on yhä nähtävissä Merenkurkun alueen metsissä.

Puuhiilen valmistus oli myös tärkeä elinkeino – puuhiili oli tärkein metsästä peräisin oleva raaka-aine raudan tuotannossa. Parantuneista valmistusmenetelmistä huolimatta hiilen tarve kasvoi aina 1800-luvun lopulle. Hiilenpoltto oli suureksi osaksi hajautettua toimintaa, jota talonpojat harrastivat silloin, kun maanviljely ei vaatinut aikaa. 1800-luvulla kehitettiin tekniikka, joka mahdollisti puuhiilen korvaamisen kivihiilellä vähentäen puuhiilen tarvetta. Puuhiili oli kuitenkin edelleen tärkeä tuote 1900-luvulla ja erityisesti sotavuosien aikana (Elmberg ym. 1992). Myös Pohjanmaalla valmistettiin puuhiiltä, joskaan ei siinä laajuudessa kuin Västerbottenin puolella.

Euroopan teollistuneiden osien puutarve aiheutti voimakkaan vesisahojen laajentumisen jokien varsille. Ruotsissa sahateollisuus oli 1600- ja 1700-luvulla ankarasti säädeltyä, mutta 1800-luvun liberalisoituminen helpotti uusien yritysten perustamista. Vuonna 1812 Ruotsin puolen kaupungit saivat oikeuden viedä puutavaraa maasta suoraan, minkä jälkeen vienti lisääntyi voimakkaasti. Saha-teollisuuden kasvun edellytyksiin kuului myös uittoväylien laajentaminen. Uitto on kuitenkin nytemmin päätynyt – viimeinen uitto esimerkiksi Umeå-joella oli vuonna 1980 (Sörlin 1981). Ensimmäisten höyrysahojen aloitettua Merenkurkun molemmilla puolilla 1800-luvun puolivälissä ei oltu enää riippuvaisia vesivoimasta sahojen käyttövoimana ja sahojen teho kasvoi nopeasti. Samaan aikaan aloitettiin nk. propsin hakkuu eurooppalaisten kaivosten käyttöön.

Tervanpoltto, puuhiilen valmistus, laivanraken-

nus, potaskanpoltto ja sahatoiminta ovat siis vaikuttaneet voimakkaasti Merenkurkun rannikkoalueiden metsiin. Lähellä rannikkoa kuitenkin maatalous – so. laiduntaminen ja viljely – on vaikuttanut eniten metsien kehitykseen.

## Metsän käyttötavat muuttuvat

Ruoho- ja rantaniittyjä käytettiin ennen yleisesti laidunmaina lehmille ja hevosille, kun taas lampaat saivat kulkea vapaasti saarilla. Laiduntavat eläimet pitivät rantamaat ja saaret avoimina. Tästä oli etua katajalle, joka sai kasvaa ilman kilpailua. Nyt kun laiduntaminen on lähes loppunut, on vesijättömailla kasvillisuuden sukkessio taas kehittynyt luonnollisemmin. Nämä maat ovatkin ainoita, joilla kasvillisuuden sukkessio tapahtuu luontaisesti ja häiriintymättä.

Aikojen kuluessa Merenkurkun alueen metsät ovat läpikäyneet suuria muutoksia. Viisi tai kuusi tuhatta vuotta sitten tulivat agraarikulttuurin karjanhoitajat ja viljelijät. Heidän myötänsä ihmisen vaikutus metsiin voimistui, koska sekä ihmisten määrä että puunkäyttö eri tarkoituksiin lisääntyi. Ruotsissa puuvarjoja käytettiin runsaimmin 1800-luvun viimeisinä ja 1900-luvun ensimmäisinä vuosikymmeninä. Lainsäädäntö on kuitenkin eri tavoin ohjannut metsänhoitoa säätelemällä hakkuita ja metsän-viljelyä. Ruotsissa säädettiin ensimmäinen metsänhoitolaki 1903, ja Suomeen tuli vuonna 1928 laki yksityismetsistä – molemmat tärkeitä merkkipaaluja metsien kannalta. Vähitellen lainsäädäntö on uudistunut, ja nykyään pidetään tuotanto- ja ympäristötavoitteita jo samanarvoisina.

**Metsien laiduntaminen** oli aiemmin yleistä kaikkialla Merenkurkun rannikolla ja saaristossa. Lamppaita voi vielä tänäkin päivänä nähdä saaristossa, esimerkiksi Valasaarilla. Kuva: Erkki Oksanen.

**Skogsbete** var tidigare vanligt överallt längs kusten och i skärgården runt Kvarken. I skärgården kan man ännu idag se får på bete så som här på en bild från Valsörarna. Foto: Erkki Oksanen.



man inte längre beroende av vattenkraft för att driva sågarna, och sågkapaciteten växte snabbt. Samtidigt inleddes också huggning av s.k. props som användes i de europeiska gruvorna.

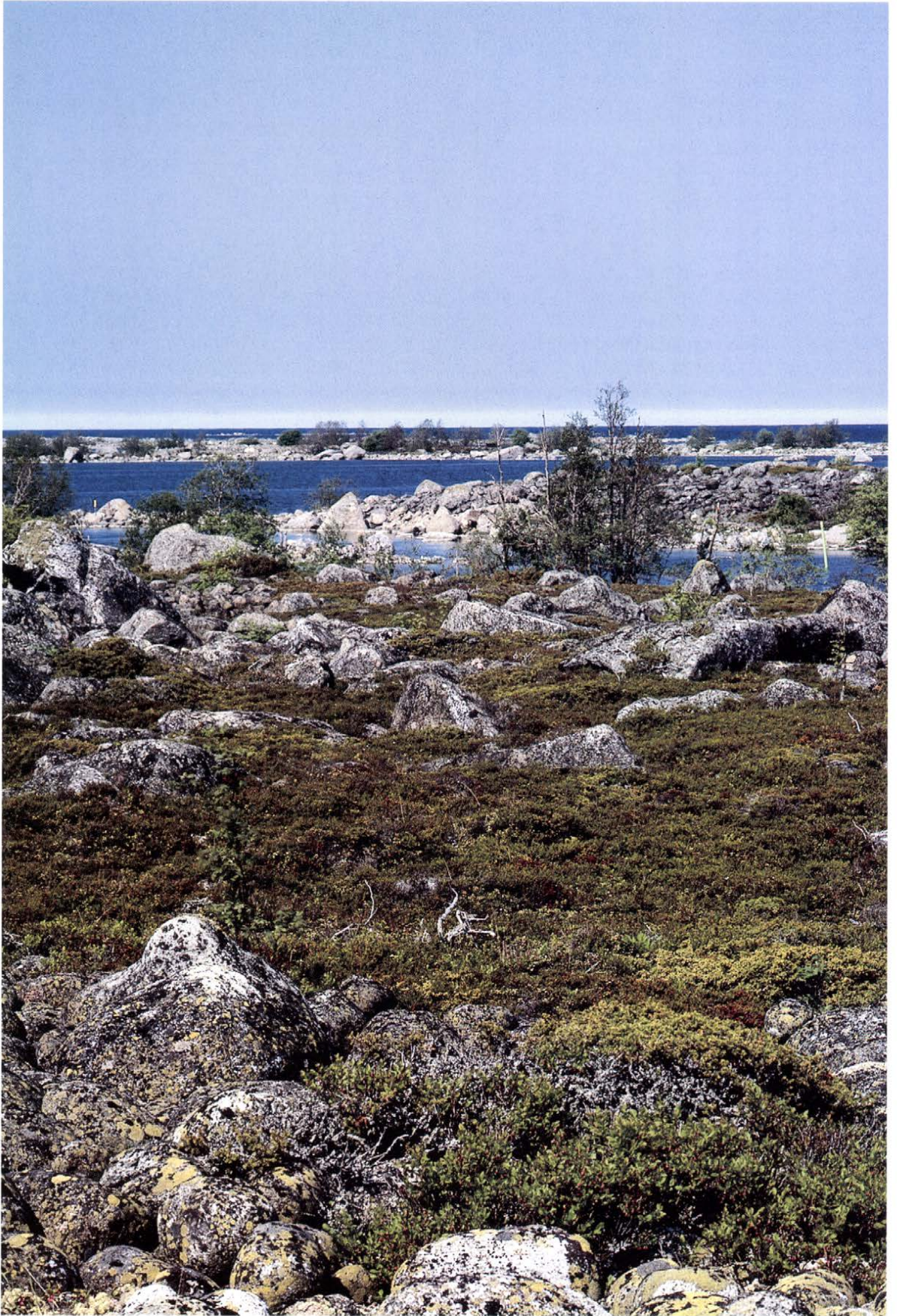
Tjärbränning, skeppsbyggnad, pottaskebränning och sågverksamhet har således kraftigt påverkat skogarna i Kvarkens kustområden. Närmast kusten var det dock den agrara användningen – d.v.s. bete och odling – som mest påverkade skogen.

## Skogens användningsformer ändras

De örtrika gräs- och strandängarna användes tidigare allmänt som bete för kor och hästar, medan fåren ofta fick gå fritt ute på holmarna. De betande djuren höll strandmarkerna och holmarna öppna. Detta var till fördel för enen, som fick utvecklas

utan konkurrens. Nu när bete upphört nästan helt har successionen på de marker som stigit ur havet åter fått en mera naturlig utveckling. Man kan till och med säga att det endast är på dessa marker som vi nu har en naturlig och opåverkad succession.

Genom tiderna har skogarna i Kvarkenområdet genomgått stora förändringar. För fem eller sex årtusenden sedan kom den agrara kulturens boskapskötare och odlare. Med dem följde en ökad påverkan av människan på skogsekosystemet, allt eftersom människorna blev flera och virkesutnyttjandet för olika behov ökade. I Sverige utnyttjades virkestillgångarna hårdast under de sista decennierna av 1800-talet och de första på 1900-talet. Lagstiftningar har dock på olika sätt reglerat skogarnas skötsel, virkessuttag och återbeskogning. I Sverige kom den första skogsvårdslagen 1903, och i Finland kom år 1928 lagen om enskilda skogar – båda viktiga milstolpar för skogarnas utveckling. Lagarna har småningom förnyats och nuförtiden anses produktions- och miljömål likvärdiga.



## KALLIO- JA MAAPERÄ BERG OCH JORD

Alf Björklund, Peter Edén, Lennart Mattsson & Jan Sjöström

*Merenkurkun alueen kallioperä koostuu pääasiassa peruskallion liuskeista ja gneisseistä, jotka ovat syntyneet noin 1900 miljoonaa vuotta sitten. Västerbottenin länsiosat kuuluvat kuitenkin kaledoniseen vuorijonoon, joka poimuttui noin 400 miljoonaa vuotta sitten. Pohjanmaa on laakea ja soistunut, kun taas Västerbottenin puolella korkeuserot ovat paljon suuremmat sekä soistuminen vähäisempää. Alle 10 m paksua moreenipatjaa peittävät paikoin hiekka ja sora sekä erityisesti Suomen puolella savi ja muut hienosedimentit. Ne sisältävät monin paikoin runsaasti mustia sulfideja ja orgaanista ainesta, jotka hapettuessaan vapauttavat myrkyllisiä metalleja ja happamoittavia yhdisteitä. Etenkin Suupohjan alueella maaperä sisältää runsaasti myrkyllisiä metalleja ja vähän fosforia.*

*Maankohoaminen on Merenkurkun alueella 8–9 mm/vuosi ja pienen kaltevuuden takia rannikkoalue nousee nopeasti merestä, mikä johtaa varsinkin Suomen puolella jokien suualueiden liettymiseen ja metsämaiden soistumiseen.*

*Berggrunden i Kvarkenregionen består i huvudsak av skiffrar och gnejser hörande till urberget, vilket bildades för ca 1900 miljoner år sedan. De västra delarna av Västerbotten hör ändå till den kaledoniska fjällkedjan, vilken veckades för ca 400 miljoner år sedan. Landskapet i Österbotten är flackt och försumpat, medan topografin i Västerbotten är betydligt mer kuperad. Ett ca 10 m tjockt moräntäcke är i vissa områden överlagrat av sand och grus samt speciellt på finska sidan av leror och andra finsediment. De är ofta rika på svarta sulfider och organiskt material (svartlera), och avger vid oxidation toxiska metaller och försurande komponenter. Jordarna i Sydösterbotten innehåller höga halter toxiska metaller och låga halter fosfor.*

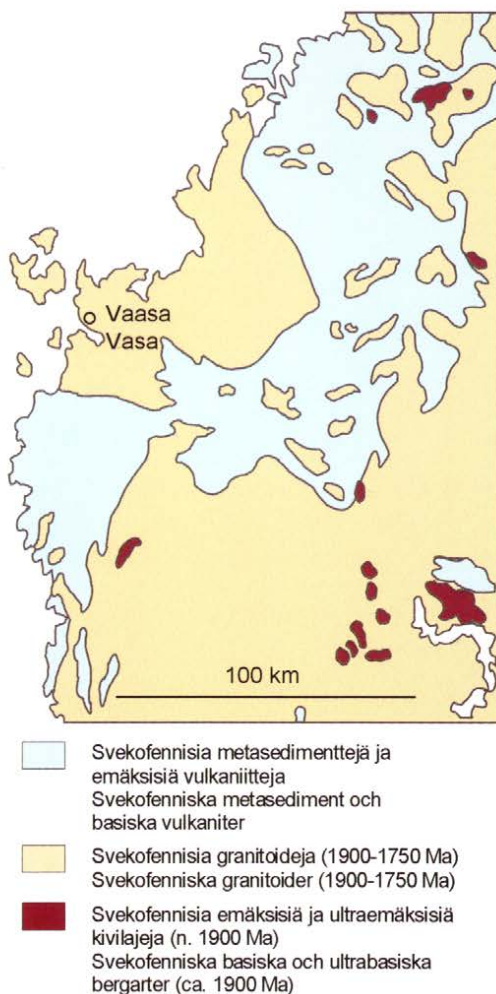
*Landhöjningen i Kvarkenregionen är 8–9 mm/år. På grund av de flacka kusterna, höjer sig landet snabbt ur havet, med uppslamning av åmynningar och försumpning av markerna som följd. Detta är tydligast på finska sidan p.g.a. den flacka topografin.*

**Maankohoamisen seurauksena merestä paljastuu yhä uutta maata. Kuva Valassaarten luonnonsuojelualueelta. Kuva: Erkki Oksanen.**

**Markhöjningen gör att ny mark ständigt stiger ur havet. Bilden är från naturskyddsområdet på Valsörarna. Foto: Erkki Oksanen.**

## Kallioperä

Pohjanmaan prekambriin peruskallio koostuu pääosin kahdesta eri kivilajiryhmästä (kuva 3), jotka syntyivät noin 1900 milj. vuotta sitten. Kaarenmuotoinen gneisseistä ja liuskeista muodostunut, 30–50 km leveä vyöhyke kulkee Kaskisten–Närpiön alueelta Seinäjoen ja Lappajärven kautta Kokkolan pohjoispuolelle. Tämä vyöhyke syntyi svekofennisen vuorijonopoimutuksen aikana ja muodostui alunperin merenpohjaan kerrostuneista hiekkasedimenteistä, jotka ovat paikoin sekoittuneet saveen. Paikoin – Lappajärvi, Perhonjoki, Lestijoki – esiintyy myös emäksisiä ja happamia,



**Kuva 3.** Vaasan läänin rannikon ja saariston kallioperäkarta (Boyd ym. 1985).

**Figur 3.** Bergrundskarta över kusten och skärgården i Vasa län (Boyd m.fl. 1985).

runsaasti kvartssia ja maasälpää sisältäviä vulkaanisia välikerrostumia. Samanaikaisesti tunkeutui sulaa kiviainesta gneissi-liuskevyöhykkeen länsipuolella muodostaen 40–50 km leveän vyöhykkeen nk. Vaasan graniittialueen Vaasan ja Pietarsaaren rannikolle. Tällä alueella kallioperä koostuu pääosin harmaasta, karkearakeisesta porfyirisestä graniitista. Vaasan graniitin alueella on myös paljon luode–kaakko- ja etelä–pohjoissuuntaisia murroslinjoja. 1400–1200 milj. vuotta sitten emäksistä sulaa kiviainesta tunkeutui maankuoren halkeamia myöden maanpintaan muodostaen diabaaseja Vaasan eteläpuoliselle rannikolle Bergön ja Maalahden ulkosaarille. Vaasan eteläpuolella, lähellä rannikkoa sijaitsee Söderfjärdenin eli ns. Sulvan rengas. Se on pyöreä, halkaisijaltaan 5 km, paikoin jopa 40 m paksun savipatjan täyttämä meteoriittikraateri.

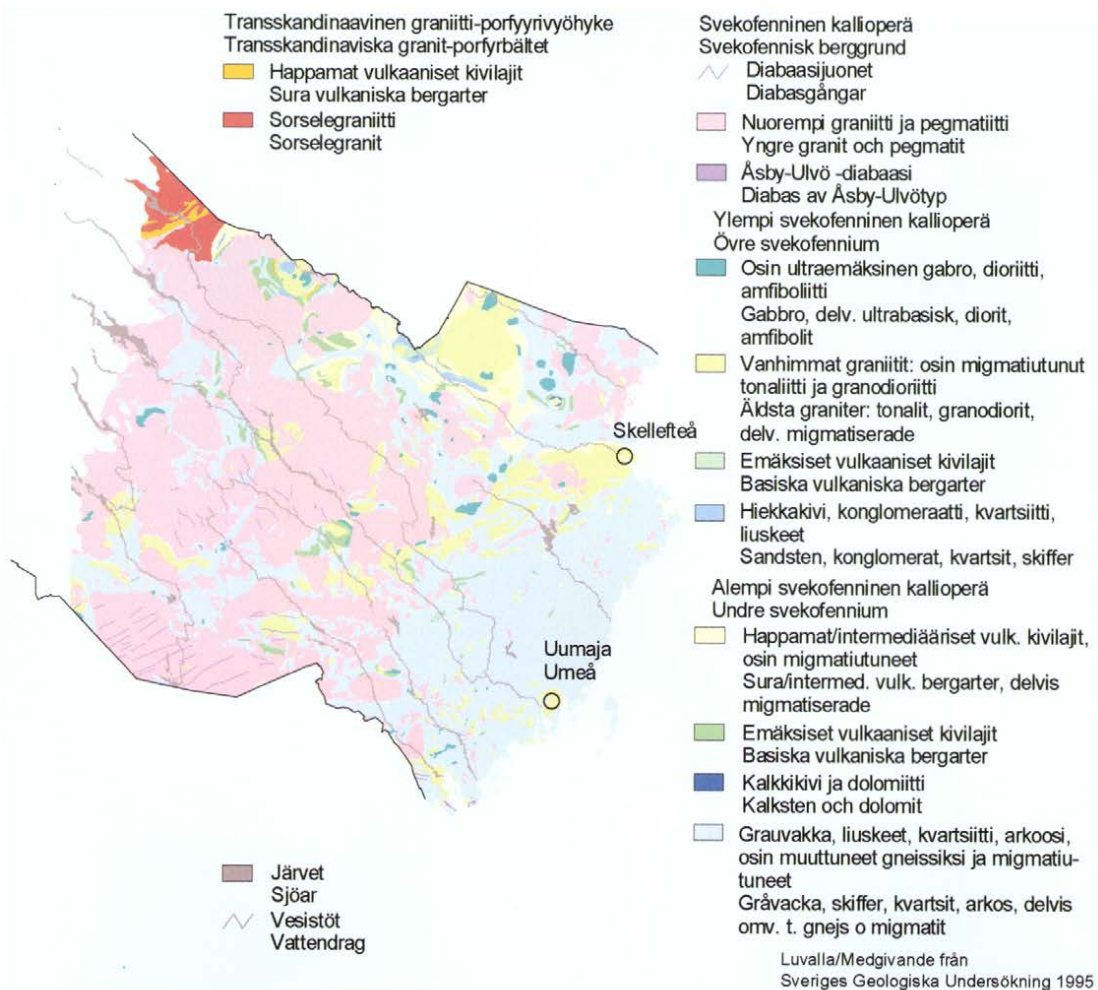
Västerbottenin läänin kallioperä on kuten Pohjanmaallakin, tunturijaksoa lukuunottamatta, prekambrista peruskalliota. Suurin osa Västerbottenin kallioperästä koostuu kivilajeista, jotka ovat peräisin svekofennisen vuorijonopoimutuksen ajoilta (kuva 4). Nämä koostuvat metamorfisista sedimenttisyntyisistä ja vulkaanisista kivilajeista. Pääasiassa grauvakka ja saviliuskeet ovat muuttuneet migmaattisiksi gneisseiksi. Nuoremmilla graniiteilla (Revsundigraniitti) ja nk. vanhimmilla graniitoideilla on myös laaja levinneisyys. Erittäin kiinnostavia ovat happamat vulkaniitit, joita löytyy Malån ja Bolidenin väliltä sekä Skelleftejoen molemmilta puolilta. Jälkimmäiselle alueelle on tunnusomaista mm. runsaat kupari-, lyijy- ja kultavarat. Sulfidimalmit esiintyvät tavallisesti levyinä tai linsseinä, joiden ympärillä on muuttuneita sivukivilajeja. Paikoin vulkaaniseen toimintaan liittyen on muodostunut marmoria eli uudelleen kiteytyneitä karbonaatteja. Lisäksi tavataan pieniä alueita, joiden kallioperä koostuu gabrosta, dioritista ja muista vulkaanisista kivilajeista. Sorselen seudulla esiintyy Sorsele-graniittia, joka kuuluu transskandinaaviseen graniitti-porfyry-vyöhön. Tämän vyön graniitti on hieman nuorempaa kuin svekofenniset kivet (kuva 4).

Tunturijakson kivilajit ovat paljon nuorempia kuin peruskallion, sillä ne syntyivät kaledonisen tunturijaksopoimutuksen yhteydessä noin 400 milj. vuotta sitten Devonikaudella. Tunturijaksolle ovat

## Berggrund

Det prekambriiska urberget i Österbotten består i huvudsak av två bergartsgrupper (figur 3), som bildades för ca 1900 milj. år sedan. Från Kaskö och Närpes i söder, via Seinäjoki och Lappajärvi ut till kusten norr om Karleby, löper ett 30–50 km brett bågformigt bälte av gnejser och skifferar. Bältet bildades under den svekofenniska bergskedjeveckningen av sandiga sediment ursprungligen avsatta på havsbotten, ställvis uppblandade med ler-material och i vissa områden – Lappajärvi, Perho å, Lestijoki – mellanlagrade med basiska och sura kvarts-fältpatrika vulkaniska avlagringar. Längs kusten mellan Vasa och Jakobstad väster om gnejs-

skifferbältet trängde samtidigt smält material upp ur jordens inre och bildade ett 40–50 km brett område av grå grovkornig porfyrisk granit (Vasa-graniten). Inom Vasa granitområde finns många krosszoner i nordvästlig och nordlig riktning. I ytterskärgråden utanför Bergö och Malax söder om Vasa trängde för 1400–1200 milj. år sedan basiskt flytande bergmaterial upp till markytan längs sprickor i jordskorpan och bildade diabaser. Söder-fjärden eller den s.k. Solf-ringen, en rund meteoritkrater, som har en diameter på 5 km och är fylld av en ställvis upp till 40 m tjock lerbädd, ligger ca 10 km söder om Vasa.



**Kuva 4.** Västerbottenin läänin kallioperäkarta.  
**Figur 4.** Berggrundskarta över Västerbottens län.

tunnusomaisia peruskallion päälle työntyneet nk. ylityöntölaatat.

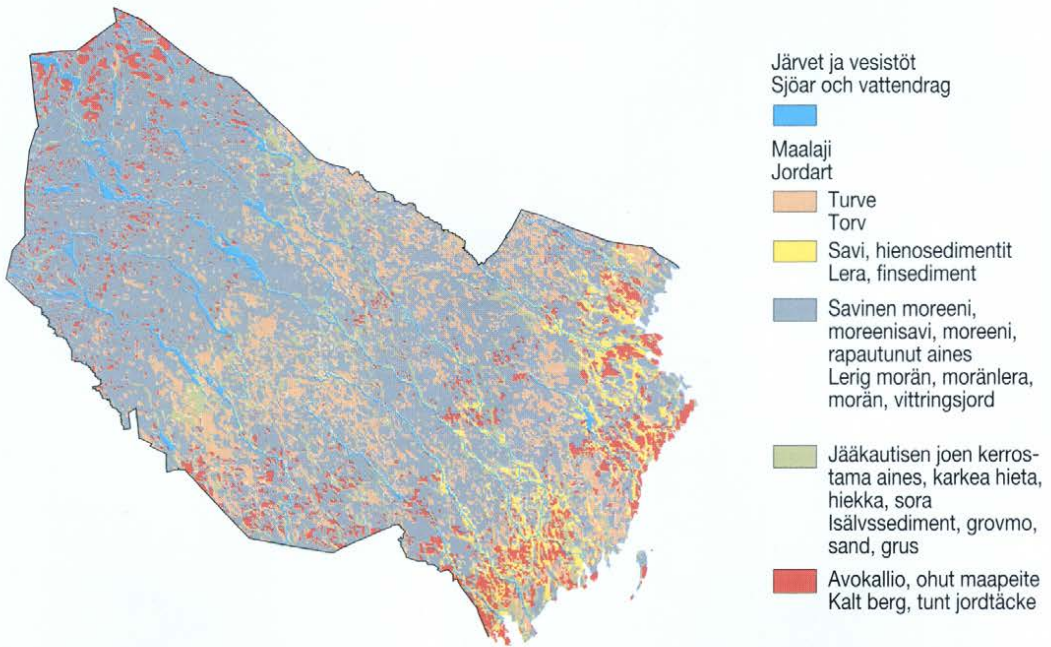
## Pinnanmuodot ja maaperä

Pohjanmaan rannikolle on ominaista pinnanmuotojen tasaisuus ja pienet alueelliset korkeuserot. Maaperä on suhteellisen paksu (1–10 m) ja pääasiassa hiekkaista tai hiesuista, paikoin jopa runsassavista kin moreenia. Maaperän nuoresta iästä johtuen podsolimaannos on heikosti kehittynyt. Vähäisiä kalliopaljastumia lukuunottamatta erilaisia moreeneja on kaikkialla, mikä tekee Merenkurkun saaristosta ainutlaatuisen. Saariston ja koko Vaasan graniittialueen erityispiirteisiin kuuluu myös tavattoman suuri lohkaraisuus ja kivisyys. Syynä tähän on Vaasan graniitin rakoilu ja rapautuminen. Mannerjää on pystynyt irrottamaan rakoilleesta kallioperästä suuriakin kappaleita. Kun tyrsky on huuhtonut hienot ainekset pois maan kohotessa merestä, on jäljelle jäänyt vain pelkkää kivikkoa ja louhikkoa.

Tiivis pohjamoreeni peittää suurinta osaa alueen kallioperästä yhtenäisenä, tasapaksuna kerrok-

kena. Pohjamoreenia peittää vuorostaan irtonaisempi pintamoreeni, jota on erityisen runsaasti Vaasan ja Seinäjoen välillä sekä alueen pohjoisosissa. Kallioiden suojapuolella moreeni esiintyy paikoitellen soikean muotoisina harjanteina nk. drumliineina, jotka ovat matalia, vain 5–10 m korkeita ja yleensä alle kilometrin mittaisia. Laajoja drumliinikenttiä esiintyy Seinäjoen kaakkoispuolella, Lappajärven ja Kaustisten välillä sekä Lestijoen varressa. Saaristossa tavataan drumliinien lisäksi De Geer -moreeneita eli pitkiä, matalia ja tasalakisia moreeniharjanteita sekä nk. Rogen-moreeneita, jotka ovat reunamoreenien kaltaisia, mutta lyhyempiä ja niissä moreenin lisäksi on myös glasifluviaalisia aineksia.

Mannerjään vetäytyttyä takaisin alueen peitti ensin Ancylus-järven makea vesi. Noin 7500 vuotta sitten alkoi Litorinameri muodostua ja suolaista merivettä virtasi alueelle. Ilmaston lämpenemisen ja ravinteikkaan suolaisen meriveden myötä lisääntyi rehevöityminen ja biologiset toiminnot vilkastuivat huomattavasti. Tänä aikana Itämeren altaassa tapahtui suuria ekologisia muutoksia. Aikaisemmin oli kerrostunut savea, mutta nyt alkoi muodostua runsaasti orgaanista ainesta ja sulfideja sisältävää



**Kuva 5.** Västerbottenin läänin yksinkertaistettu maalajikartta.

**Figur 5.** Förenklad jordartskarta över Västerbottens län.

Berggrunden i Västerbottens län består liksom i Österbotten av prekambrikt urberg med undantag för fjällavsnittet. Största delen av bergarterna i urberget härstammar från den svekofenniska bergskedjeveckningen (figur 4). Ytbergarterna består av sedimentära (i huvudsak gråvacka och lerskiffrar) och vulkaniska bergarter vilka omvandlats till migmatiter. Även yngre graniter (Revsundsgranit) och s.k. äldre granitoider är utbredda. Särskilt intressanta är de sura vulkaniterna som finns mellan Malå och Boliden samt i ett stråk på ömse sidor om Skellefteälven. Det sistnämnda stråket kallas Skelleftebältet, som är känt bl.a. för sina rikliga tillgångar på koppar, bly och guld. Kropparna av sulfidmalm förekommer i regel som lager eller linser och omges av starkt omvandlade sidobergarter. I anslutning till den vulkaniska aktiviteten har marmor, det vill säga omkristalliserade karbonatstenar, bildats i vissa områden. Dessutom finns mindre områden med basiska intrusiva bergarter såsom gabbro och diorit samt basiska vulkaniska bergarter. I trakterna kring Sorsele förekommer Sorselegranit, vilken tillräknas det transskandinaviska granitporfyrbältet. Graniten i detta bälte är något yngre än de svekofenniska bergarterna (figur 4).

Bergarterna i fjällen är mycket yngre än urberget, eftersom de bildades i samband med den kaledoniska fjällkedjeveckningen under devonperioden för ca 400 milj. år sedan. Fjällkedjans struktur karakteriseras av bergartspackar, skollor, som skjutits ovanpå underliggande berggrund.

## Ytformer och jord

Kännetecknande för Österbottens kustområden är jämna ytformer och små regionala höjdskillnader. Jordlagret är normalt 1–10 m tjockt och består huvudsakligen av sand- eller finsandhaltig morän, som på sina ställen innehåller rikligt med lera. Eftersom jorden här är ung, är podsoljordmånen svagt utvecklad. Moränerna bildar ett närapå enhetligt täcke över området, vilket gör miljön i Kvarnenskärgården unik. Till skärgårdens särdrag hör en stor mängd stenblock och stenar, vilket förorsakas av att inlandsisen lätt kunnat lösgöra och krossa stora block ur den starkt spruckna Vasagraniten. Då bränningarna sköljt bort det fina materialet har endast stenjord och blockjord blivit kvar

längs stränderna, som successivt stigit ur havet.

Underst i moräntäcket ligger hårdpackad bottenmorän som ett enhetligt, jämntjockt skikt. Bottenmoränen i sin tur täcks av lösare ytmorän, som förekommer särskilt rikligt mellan Vasa och Seinäjoki samt i regionens nordliga delar. På läsidan av bergsklackar avsattes ställvis moränen som långsträckta, 5–10 meter höga, oftast mindre än 1 km långa ryggar, s.k. drumliner. Omfattande drumlinfält förekommer sydost om Seinäjoki, mellan Lapjärkevi och Kaustby samt längs Lestijoki. I skärgården påträffas förutom drumliner även De Geermoräner, vilka är långa, låga moränåsar med plan topp samt s.k. Rogen-moräner, vilka liknar randmoräner men är kortare och innehåller förutom morän även glacifluvialt material.

Efter att inlandsisen dragit sig tillbaka täcktes området först av Ancyclus-sjöns sötvatten. För ca 7500 år sedan vidtog Litorina-stadiet och saltvattenströmmade in. I det varmare klimatet och det salta vattnet ökade eutrofieringen och den biologiska aktiviteten steg kraftigt varvid stora ekologiska förändringar ägde rum i Östersjöbassängen. Tidigare hade lera avlagrats, men nu började gytta rik på organiskt material och sulfider, s.k. svartlera (svartmocka) bildas. Leravlagringarna täcker stora delar av Österbotten. Klimatet, de täta jordarterna och den flacka terrängen samt landhöjningen har medverkat till försumpning men eftersom huvuddelen av Österbotten är mycket ungt, har myrarna ett relativt tunt torvtäcke.

Sand- och finsandmorän hör till de vanligaste jordarterna också i Västerbottens län, där moränryggarna och -formationerna är av samma form och har uppstått på samma sätt som på den finska sidan. Tjockleken på moräntäcket varierar mycket. Yngre jordarter såsom torv och finkorniga sediment ligger ställvis på moränerna. Figur 5 föreställer en förenklad jordartskarta över Västerbottens län.

På den svenska sidan av Kvarnensregionen har högsta kustlinjen en betydligt större jordartsgeologisk betydelse än på den finska sidan, på grund av andra höjdförhållanden i Västerbottens län än i Österbottens kustområde och skärgård. Ovanför högsta kustlinjen består jordarterna huvudsakligen av moräner och torv, medan finsediment förekommer endast i form av svämsediment. Nedanför högsta kustlinjen har havsvågorna bearbetat moränerna och omlagrat materialet. Finsedimenten har bildats antingen före eller efter att isen smält.

liejua, nk. mustaa savea. Savikerrokset peittävätkin suuria osia nykyisestä Pohjanmaasta. Ilmasto, tiiviit maalajit, maankohoaminen ja alava maasto ovat kuitenkin edesauttaneet soistumista, mutta koska pääosa alueesta on hyvin nuorta, ovat suot suhteellisen ohutturpeisia.

Hiekka- ja hietamoreeni ovat yleisimpiä maalajeja myös Västerbottenin läänissä, missä moreeniharjanteet ja -muodostumat ovat saman tyyppisiä muodoltaan ja syntyvaltaan kuin Suomenkin puolella. Moreenipeitteen paksuus vaihtelee huomattavasti. Paikoin moreenien päällä esiintyy nuorempia maalajeja kuten turvetta ja hienorakeisia kerrostumia. Kuvassa 5 on esitetty yksinkertaistettu maalajikartta Västerbottenin läänin alueelta.

Ruotsin puolella Merenkurkkaa jääkauden jälkeisellä korkeimmalla rannalla on huomattavasti suurempi maaperägeologinen merkitys kuin Suomen puolella, koska korkeussuhteet ovat Västerbottenin alueella toisenlaiset kuin Pohjanmaan rannikolla ja saaristossa. Korkeimman rannan alapuolella meren aallokko on muovannut moreeneja kerrostaen ainesosat uudelleen. Korkeimman rannan yläpuolella maalajit ovat pääosin moreeneja ja turvetta, hienorakeisia kerrostumia esiintyy ainoastaan tulvasedimentteinä. Pääosa hienorakeisista maalajeista sijaitsee korkeimman rannan alapuolella alankoalueilla ja jokien suistoissa. Hienorakeiset maalajit ovat syntyneet joko ennen jään sulamista tai sen jälkeen.

Vallitseva maanostyyppi Västerbottenin alueella on podsoli, joka on selvimmän havaittavissa läänin keski- ja lounaisosissa. Epästabiileja ruskomaita esiintyy pääosin hienosedimenttialueilla. Ruskomaa syntyy alueille, missä savipitoisiin maalajeihin on sekoittunut runsaasti orgaanista ainesta maaorganismien, esim. matojen ja bakteerien ansiosta. Västerbottenin alueella ruskomaat muuttuvat nopeasti podsolimaannoksiksi kasvillisuuden muuttuessa. Ruskomaa voi säilyä paikoilla, missä koivu ja erilaiset ruohot ovat vallitsevina tai maaperä on entistä viljelysmaata. Ohuita litosoleja tavataan alueilla, missä maapeite on erittäin ohut, yleensä alle 10 cm paksu ja paikoin paljas kallio-pinta ulottuu maanpintaan saakka. Nämä alueet ovat erityisen herkkiä happamoitumiselle. Norrlandin rannikolla hienorakeiset sedimentit ovat paikoin mustia rautasulfidin vaikutuksesta nk. sulfidimaita. Niiden joutuessa kosketuksiin ilman hapen kanssa, rikkiyhdisteet hapettuvat, jolloin muodostuu erittäin happamia nk. alunamaita.

Tunturialueilla maannos on ankanan ilmaston vuoksi heikosti kehittynyt.

## Geokemia

Vuosina 1993–94 Geologian tutkimuskeskus kartoitti Suomessa maaperän geokemiallisia ominaisuuksia. Tällöin kerättiin noin 80 000 moreeni-näytettä (1 näyte/4 km<sup>2</sup>) kemiallisia analyysejä varten. Näytteiden hienoaineksesta (< 62 µm) analysoitiin 20 alkuaineen pitoisuudet kuningasvesiuutoksesta. Alkuainepitoisuuksien perusteella on erotettavissa suuria yhtenäisiä alueita. Suomen puolella Merenkurkun alueen etelä- ja pohjoisosien moreenit eroavat geokemiallisesti toisistaan. Useimpien analysoitujen alkuaineiden (mm. Al, K, Mg, Fe, Mn, Ni, Co, Cu ja Zn) pitoisuudet ovat Suomen korkeimpia linjan Maalhti–Laihia eteläpuolella (kuva 6). Tämän linjan pohjoispuolella olevalla alueella linjalle Oravainen–Seinäjäki alkuainepitoisuudet ovat korkeahkoja ja laskevat tämän linjan pohjoispuolella ollen Suomen matalimpia. Fosfori (kuva 7) ja kalsium ovat poikkeuksia, korkeimpien pitoisuuksien esiintyessä Pohjois-Pohjanmaalla, Keski-Suomessa ja Länsi-Lapissa.

Tunnusomaista Merenkurkun alueelle Suomessa on suuri sulfidipitoisten hienoainessedimenttien määrä. Sulfidisavikoista on toistaiseksi tehty niukasti geokemiallisia analyysejä. Kokkolan ja Kristiinankaupungin väliltä, hapettumattomista savista kerätyistä noin 500 näytteestä saadut analyytitulokset ovat hyvin samantapaisia kuin mitä on saatu moreeneista. Raskasmetallien ja useimpien muidenkin alkuaineiden korkeimmat pitoisuudet tavataan Suupohjan alueella.

## Maankohoaminen

Itämerelle ja sen lahdille on ominaista maankohoaminen. Viimeisimmän jääkauden aikana jopa kolme kilometriä paksu jää peitti suuria maa-alueita aiheuttaen suunnattoman kuormituksen maankuoreen, joka alkoi vajota allaolevaan jähmeään maankuoren vaippaan. Vajoaminen oli suurinta – mahdollisesti noin 800 m – Perämerellä, missä viimeisimmän mannerjään paksuin osa sijaitsi. Jään sulassa ja maankuoren vapautuessa kuormituksesta alkoi nopea maan kohoaminen, joka sittemmin on

*Pallosaran ja rahkasamalten runsaus kertovat metsämaan soistuneisuudesta. Soistuneen kuusikon pintakasvillisuutta Luodon kunnassa. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Klotstarrens och vitmosans stora mängd är tecken på skogsmarkens försumpning. Ytväxtligheten i ett försumpat granbestånd i Larsmo. Foto: Erkki Oksanen.*



Huvuddelen av de finfördelade jordarterna finns därför på lågslätter och vid älvmyrningar nedanför högsta kustlinjen.

Podsol är den dominerande jordmånstypen och förekommer allmäntast i Västerbottens mellersta och sydvästra delar. Instabila brunjordar finns främst i finsedimentområden. De kan uppstå i områden exempelvis med björk, gräs eller sedan länge uppodlad mark. Dessa jordar bildas i lerrika jordarter och har riklig förekomst av bl.a. maskar och bakterier. I Västerbottens län kan brunjordarna snabbt övergå i podsoler om vegetationsförhållandena förändras. Tunna lithosoler förekommer i bergig terräng med jordtäckan tunnare än 10 cm. Denna jordmånstyp är känslig för bl.a. surt nedfall. Längs Norrlandskusten kan de finkorniga sedimenten ofta vara svartfärgade av järnsulfid (svartmocka). Då de kommer i beröring med syret i luften oxideras svavlet och då bildas mycket sura jordar, så kallade alunjordar. I fjällområdena är jordmånen svagt utvecklad på grund av det stränga klimatet.

## Geokemi

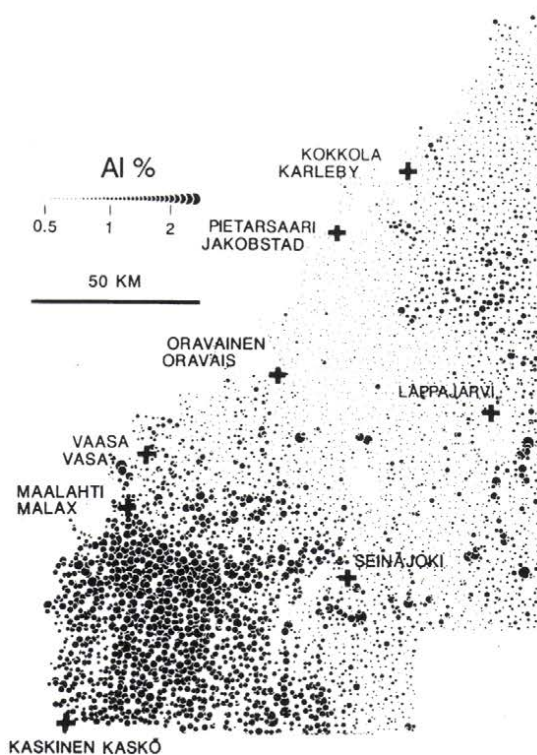
Under åren 1993–94 utförde Geologiska forskningscentralen en kartering av de geokemiska egenskaperna i moränen i Finland. Prover för kemisk analys insamlades med en täthet av ca 1 prov per 4 km<sup>2</sup>. Finfraktionen (<62 µm) analyserades på

över 20 element efter upplösning i kungsvatten. Resultaten visade att grundämneskoncentrationerna bildar stora enhetliga anomalimönster. Geokemin i moränerna i de södra delarna av den finska Kvarkenregionen skiljer sig markant från geokemin i de norra delarna. Halterna av de flesta analyserade element (bl.a. Al, K, Mg, Fe, Mn, Ni, Co, Cu och Zn) hör till de högsta i Finland i områdena söder om linjen Malax–Laihela (figur 6). I området norr om denna linje upp till linjen Oravais–Seinäjäki ligger halterna på medelhög nivå, för att norr om Oravais–Seinäjäki sjunka till en nivå som hör till de lägsta i Finland. Fosfor (figur 7) och kalcium, vars högsta halter finns i norra Österbotten, mellersta Finland och västra Lappland, utgör undantag.

Karakteristiskt för Kvarkenregionen i Finland är den stora mängden sulfidrika leror och övriga finsediment. Hittills har endast ett fåtal prov av sulfidlerjordarna analyserats geokemiskt. De regionala geokemiska mönstren i ooxiderade leror mellan Karleby och Kristinestad sammanfaller i stor utsträckning med de geokemiska mönstren i moränerna. De högsta halterna av tungmetaller och de flesta övriga grundämnen påträffar man i lerorna i Sydösterbotten.

## Landhöjning

Utmärkande för kusterna längs Bottniska viken är



**Kuva 6.** Kuningasvesiliukoisen alumiinin pitoisuudet moreenin hienofraktiossa ( $<62 \mu\text{m}$ ) Suomen puolella Merenkurkkua (Geologisen tutkimuskeskuksen arkisto).

**Figur 6.** Halterna av kungvattenlösligt aluminium i moränens finfraktion ( $<62 \mu\text{m}$ ) i finska kvarkenregionen (Geologiska forskningscentralens arkiv).

vähitellen hidastunut, ollen tällä hetkellä Merenkurkun alueella noin 8–9 mm/vuosi. Viimeisimmän jääkauden jälkeen Merenkurkun alue on joidenkin laskelmien mukaan kohonnut noin 670 m, näin ollen tämä alue tulee vielä kohoamaan noin 130 m ennen kuin saavutetaan lopullinen tasapaino.

Merenkurkun saariston synty ja kehitys on seurausta maan kohoamisesta. Matalista ulapoista kohoavat uudet karit ja luodot muodostavat vähitellen metsää kasvavia pienehköjä saaria, jotka kasvavat ajan myötä yhteen. Maankohoaminen kuroo myös vähitellen merenlahtia ja eristää ne merestä.

Lahtea, joka saa merivesi-impulsseja vain korkean veden aikana, kutsutaan Pohjanmaalla fladaksi. Kun flada kuroutuu kokonaan irti merestä nimitetään sitä glojärkeksi. Fladoille on tyypillistä rehevyys, mutta maankohoamisen jatkuessa vedet karuuntuvat muuttuessaan glojärkeksi ja lopulta soiksi (Tulkki 1984). Suuri osa näistä vanhoista ulapoista ja järvistä on nykyään peltoa tai ojitettuja, metsää kasvavia turvemaita.

Pohjanlahteen laskevat monet Pohjanmaan joet tuovat myös tullessaan paljon liejua. Jokiveteen liuenneet hieno saviliete saostuu kohdatessaan meriveden ja painuu pohjaan. Liettyminen on voimakkainta saariston suojaisimmissa osissa. Se voimistaa maankohoamisen vaikutuksia siten, että jokien suistoalueet mataloituvat nopeammin kuin mitä yksistään maankohoaminen aiheuttaisi. Jokien virtaus merta kohden hidastuu ja samalla soistuminen voimistuu. Ruotsin puolella Västerbottenin läänin rannikolla vastaavia maankohoamisen vaikutuksia on mm. pinnanmuodostuksesta johtuen vaikeampi havaita.

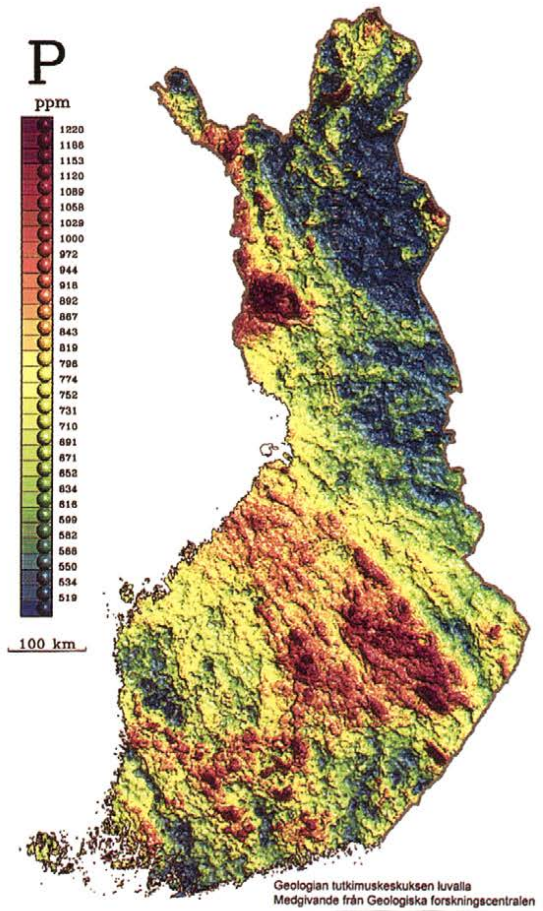
Suomessa Merenkurkun alueella tapahtuva maan voimakas luontainen happamoituminen ja vesistöjen raskasmetallikuormitus selittyy osaksi maankohoamisesta aiheutuvalla sulfidipitoisten maiden hapettumisella. Maan sulfidimineraalit sisältävät runsaasti raskasmetalleja. Niin kauan kuin ne ovat vedenpinnan alapuolella ne pysyvät muuttumattomina. Joutuessaan kosketuksiin ilman hapen kanssa sulfidimineraalit rapautuvat, samalla vapautuu raskasmetalleja ja happamoittavia yhdisteitä. Maankohoamisen seurauksena merestä nousee jatkuvasti uutta maata, joka tulee kosketuksiin ilman hapen kanssa. Tästä syystä Merenkurkun alueella happamoituminen on luonnostaan aina ollut varsin voimakasta. On ilmeistä, että luontaisesta happamuudesta ja happamoitumisesta on kaikkina aikoina aiheutunut eriasteisia luontaisia ympäristöongelmia. Tämän hetken ongelma etenkin Suomen puolella Merenkurkkua on kuitenkin se, että ihminen estää maiden soistumista ojittamalla ja jokien madaltamista perkaamalla; molemmat toimenpiteet ovat samalla nopeuttaneet vesistöjen happamoitumista ja raskasmetallikuormitusta.

följderna av landhöjningen. Under den senaste istiden täckte ett upp till 3 km tjockt islager stora landområden och förorsakade en enorm belastning på litosfären, som därför började sjunka ned i den trögflytande underliggande manteln. Nedsjunkningen var störst – möjligen ca 800 m – över Bottnhavet, där den tjockaste delen av inlandsisen låg. Medan isen smälte och jordskorpan frigjordes från belastning, vidtog en snabb landhöjning, som så småningom har blivit långsammare och som nu är ca 8–9 mm/år i Kvarkenregionen. Enligt vissa beräkningar har landet i detta område höjt sig ca 670 m efter den senaste istiden, och sålunda kommer denna region att höja sig ytterligare ca 130 m innan isostatisk jämvikt uppnåtts.

Skärgårdens uppkomst och utveckling i Kvarkenregionen är en följd av landhöjningen. Nya grund och skär stiger således ständigt upp ur de grunda fjärdarna. Dessa blir sedan skogsklädda holmar och holmarna växer småningom samman. Landhöjningen snör småningom av havsvikarna och isolerar dem från havet. En vik, som får havsvattenimpulser endast under högvatten, kallas flada i Österbotten. Då en flada helt avstängs från havet bildas en s.k. glosjö. Det typiska för fladorna är att de är eutrofierade, men när landhöjningen fortgår blir vattnet fattigare och förändras till glosjöar och slutligen till sjöar och kärr (Tulkki 1984). En stor del av dessa avsnörda fjärdar är numera åker eller utdikade torvmarker med växande skog.

De många österbottniska åar och älvar som rinner ut i Bottniska viken för med sig mängder av slam. Det fina lermaterialet som slammas upp i vattendragen, avsätts och sjunker till botten när det kommer i beröring med havsvattnet. Uppslamningen är starkast i de mest skyddade delarna av skärgården. Detta förstärker effekterna av landhöjningen, och medverkar till att områden kring å- och älvmyningarna grundas upp snabbare än vad enbart landhöjningen ger upphov till. På den svenska sidan, vid Västerbottens läns kust, är verkningarna av landhöjningen svagare än på den finska sidan på grund av terrängens högre topografi och större lutning mot havet.

Den starka naturliga försurningen av marken och tungmetallbelastningen på vattendragen i Kvarkenområdet i Finland förklaras till en del av att landhöjningen förorsakar oxidation av sulfid- och tungmetallrika marker. Så länge sulfidmineralier befinner sig under vattenytan oxiderar de inte, men när de kommer i beröring med syret i luften



**Kuva 7.** Kuningasvesiliukoisien fosforin pitoisuudet moreenin hienofraktiossa ( $<62 \mu\text{m}$ ) Suomessa. Väripinta edustaa noin 80 000 näytteen liukuvia mediaaniarvoja (Salminen 1995).

**Figur 7.** Halterna av kungsvattenlösligt fosfor i moränens finfraktion ( $<62 \mu\text{m}$ ) i Finland. Färgytan representerar flytande medianvärden baserade på ca 80 000 prov (Salminen 1995).

börjar de sönderfalla, varvid tungmetaller och försurande föreningar frigörs. Landhöjningen tar oavbrutet ny mark ur havet, som härvid kommer i kontakt med luftens syre. Försurningen i Kvarkenregionen har därför alltid av naturliga orsaker varit kraftig och har sålunda i alla tider förorsakat miljöproblem av olika grad. Dagens problem i Österbotten består dock däri att människan förhindrar försumpning genom dikningar på markerna och muddringar i älvarna. Detta har påskyndat försurningen och tungmetallbelastningen.



# ILMASTO KLIMAT

Päivi Merilä, Lennart Mattsson & Jan Sjöström

*Kasvimaantieteellisessä aluejaossa Vaasan läänin rannikko ja saaristo kuuluvat eteläboreaaliseen ja Västerbottenin läänin rannikko keskiboreaaliseen vyöhykkeeseen. Tutkimusalueen merellinen sijainti tasoittaa lämpötilan vuorokausi- ja vuosivaihteluja, mikä ilmenee syksyn ja kevään pidentymisenä sisämaahan verrattuna. Kasvukauden pituus Vaasan läänin rannikolla on keskimäärin 155–165 ja Västerbottenin rannikolla 140–160 vuorokautta. Suomen puolella Merenkurkkua vallitsevat syksyllä ja talvella etelän- ja lännenpuoleiset tuulet. Kevät- ja kesäaikana myös pohjoistuulet ovat varsin tavallisia etenkin Vaasan pohjoispuolisella rannikkoalueella. Pohjois-Ruotsia hallitsevat kesäaikana pohjoistuulet ja talvella länsituulet. Vuotuinen sademäärä Västerbottenin läänin länsiosissa on noin 600–700 mm ja Vaasan läänin rannikolla 450–550 mm. Vaasan läänin rannikkoseutu on sekä kesällä että talvella Suomen vähäsateisinta aluetta. Suurin lumensyvyys tällä alueella on keskimäärin 40 cm ja Ruotsin puolella 60–70 cm.*

*I den växtgeografiska områdesindelningen hör Vasa läns kust och skärgård till den sydboreala zonen, medan kusten i Västerbottens län hör till den mellanboreala zonen. Områdets maritima läge utjämnar temperaturens dygns- och årsvariation, vilket gör hösten och våren längre än i inlandet. Växtperiodens längd är i Vasa läns kustområde i genomsnitt 155–165 dygn och i Västerbottens kustområde 140–160 dygn. På den finländska sidan av Kvarken dominerar västliga vindar under höst och vinter. Under vår och sommar förekommer nordliga vindar tämligen allmänt, framför allt i kustområdet norr om Vasa. I Nordsverige är nordliga vindar allmänt förekommande på sommaren, medan västvindar är vanliga under vinterhalvåret. Den årliga nederbörden är i de östra delarna av Västerbottens län ca 600–700 mm och i Vasa läns kustområde 450–550 mm. Vasa läns kustområde hör på både sommaren och vintern till landets nederbördsfattigaste område. Det genomsnittliga maximisnödjupet är här 40 cm, men uppgår på den svenska sidan i genomsnitt till 60–70 cm.*

**Vaasan läänin rannikko ja saaristo ovat vähälumista aluetta. Kuusikko Raippaluodon itärannalta 14.3.1995. Kuva: Erkki Oksanen.**

**Kustområde i Vasa län är snöfattigt. Ett granbestånd på Replots östra sida den 14.3.1995. Foto: Erkki Oksanen.**

## Johdanto

Merenkurkun alueen ilmastolla on omat, sisämaahan nähden poikkeavat ominaispiirteensä. Merellisen ilmaston suotuisa vaikutus näkyy parhaiten kasvimaantieteellisessä aluejaossa: eteläboreaalinen vyöhyke ulottuu Suomen länsirannikkoa pitkin Kokkolan seudulle saakka, vaikka Pohjanmaan sisämaa-alue kuuluu jo keskiboreaaliseen vyöhykkeeseen (Nordiska ministerrådet 1984). Samantyyppinen eteläboreaalisen vyöhykkeen työntymisen rannikon myötäisesti pohjoista kohden näkyy Ruotsin puolellakin, vaikka Västerbottenin läänin rannikkoalue kuuluu jo keskiboreaaliseen vyöhykkeeseen. Västerbottenin läänin rannikolta länsiluodetta kohti siirryttäessä topografia nousee ja ilmasto-olot käyvät ankarammiksi: keskiboreaalista vyöhykkeeltä siirrytään pohjoisboreaalisen kasvillisuuden kautta tunturialueen alpiiniselle vyöhykkeelle. Meren leudontavan vaikutuksen lisäksi Merenkurkun rannikkoalueen ilmastoon kuuluu myös metsien kannalta epäsuotuisia piirteitä, kuten tuulisuus ja Suomen puolella vähäsaateisuus.

## Lämpöolot

Alueen lämpöoloihin vaikuttavat auringon säteilyn lisäksi myös paikalliset tekijät, kuten alustan laatu, maastomuodot, vesistöt ja meret. Näiden säännöllistä vaihtelua aiheuttavien tekijöiden lisäksi lämpöoloja sekoittavat ns. advektiiviset tekijät, jotka aiheutuvat ilmavirtausten mukana siirtyvästä lämmöstä. Tästä syystä Skandinavian lämpöolot vaihtelevat epäsäännöllisesti, etenkin talvella, jolloin lauhat ilmavirtaukset Atlantilta aika ajoin katkaisevat kylmät pakkasjaksot (Helminen 1987).

Tutkimusalueen merellinen sijainti tasoittaa lämpötilan vuorokausi- ja vuosivaihteluja. Lämpöolot rannikkoalueella ovat kokonaisuutena sisämaata suotuisimmat. Syksyllä ja alkutalvesta meren lämmittävä vaikutus on suurimmillaan ja esimerkiksi tammikuussa Merenkurku ja Suomen etelärannikko ovat suunnilleen yhtä lämpimät (Heino 1987). Merellisyys näkyy myös ns. pakkassummassa, joka tarkoittaa niiden vuorokausien lämpösomaa, joiden keskilämpötila on alle 0 °C. Pohjanmaan rannikolla loka-huhtikuun pakkassumma vaihtelee keskimäärin 700–900 d.d.

(vrk°C) välillä, kun se itäisimmässä Suomessa vastaavalla leveydellä on 1300–1400 d.d. (vrk°C) (Helminen 1987). Keväällä ja alkukesästä meri puolestaan viilentää rannikkoalueita. Meren lämpöoloja tasoittava vaikutus ilmenee syksyn ja kevään pidentymisenä sisämaahan verrattuna.

Terminen kasvukausi eli se osa vuodesta, jolloin vuorokausikeskilämpötila on korkeampi kuin +5 °C, on kasvillisuuden kannalta varsin oleellinen. Kasvukauden pituus Vaasan läänin rannikolla on keskimäärin 155–165 (Helminen 1987) ja Västerbottenin läänin rannikolla 140–160 vuorokautta. Kasvukauden aikana kertynyt lämpösomma vaihtelee Vaasan läänin ja Västerbottenin rannikkoalueilla 1000–1200 d.d. (vrk°C). Vaasan seutu erottuu kasvukauden keskilämpötilan suhteen ympäristöään hiukan lämpimämpänä.

Tammikuu on kylmin (-14 – -16 °C) Sorselen seudulla ja Skellefteån pohjoisosissa (kuva 8). Muuten kylmempiä alueita esiintyy suurimpien jokilaaksojen alueilla. Lämpimintä on tammikuussa (-6 – -9 °C) rannikolla Bureåsta etelään, sekä Holmön alueella. Vaasan läänin rannikolla tammikuun keskilämpötila vaihtelee -6 – -8 °C.

Vuoden lämpimimmän kuukauden, heinäkuun, lämpötila on alimmillaan (+6 – +8 °C) tunturiseudulla, kuten Norra Storfjälletin ja Artfjälletin alueilla Sorselessa ja Storumanin kunnassa tai Marsfjällin tunturialueella Vilhelminan kunnassa (kuva 8). Rannikkoa kohti on lämpoisempää. Lämpöisen ilman rintama (+15 – +16 °C) ei kuitenkaan ulotu koko rannikkolinjalle. Vaasan läänin rannikolla heinäkuun keskilämpötila on +15 – +16 °C. Lämpimimmän ja kylmimmän kuukauden keskilämpötilojen erotusta voidaan pitää lämpötilan vuosivaihtelun mittana, mikä kuvaa myös alueen mantereisuutta. Vaasan läänin rannikolla sen suuruus on noin +23 °C ja vastaavalla leveydellä itäisimmässä Suomessa noin +28 °C (Helminen 1987). Ilmastoltaan merellisimmällä alueella, Ahvenanmaalla tämä erotus on noin +19 °C.

Myös lämpötilan vuorokausivaihtelu on rannikolla sisämaata pienempi. Vuorokausivaihtelu on suurimmillaan keväällä ja kesällä sekä pienimmillään loppusyksyllä. Sen suuruus on saaristossa keskimäärin +3 – +5 °C kaikkina vuodenaikoina (Heino 1987). Rannikolla vaihtelu on vastaavasti +6 – +11 °C ja Pohjanmaan vähäjärvisillä sisämaa-alueilla kesällä yli +12 °C. Meren lämpötilaeroja

## Inledning

Klimatet i Kvarkenregionen har särdrag som helt avviker från inlandsklimatet. Havsklimatets gynnsamma inverkan framgår bäst av den växtgeografiska områdesindelningen; den sydboreala zonen sträcker sig längs Finlands västkust ända till Karlebytrakten, även om det österbottniska inlandet hör till den mellanboreala zonen (Nordiska ministerrådet 1984). Samma förskjutning av den sydboreala zonen längs kusten mot norr syns också på den svenska sidan, även om kustområdet i Västerbottens län hör till den mellanboreala zonen. Mot västnordväst längs kusten i Västerbottens län blir topografin högre och de klimatologiska förhållandena strängare: den mellanboreala zonen går via den nordboreala växtligheten över i den alpina zonen i fjällområdet. Havet gör klimatet varmare i Kvarkens kustregion, men har också egenskaper som är ogynnsamma för skogen, såsom hårda vindar och på den finländska sidan alltför litet regn.

## Temperaturförhållanden

Temperaturförhållandena i regionen påverkas förutom av solstrålningen även av lokala faktorer såsom jordmån, topografi, mängden vattendrag och avstånd till havet. Förutom dessa faktorer som orsakar regelbundna variationer, påverkas värmeförhållandena av s.k. advektiva faktorer, som orsakas av värmen som rör sig med luftströmmarna. Därför varierar temperaturförhållandena i Skandinavien oregelbundet, framför allt på vintern, då varma luftströmmar från Atlanten tidvis bryter de kalla köldperioderna (Helminen 1987).

Kvarkenområdets maritima läge utjämnar temperaturens dygns- och årsvariationer. Temperaturförhållandena är i sin helhet gynnsammare i kustregionen än i inlandet. På hösten och förvintern värmer havet mest och i t.ex. januari är Kvarken och Finlands sydkust ungefär lika varma (Heino 1987). Det maritima inslaget framgår även av den s.k. köldsumman, med vilken avses värmesumman under de dygn, då medeltemperaturen varit under 0 °C. Vid den österbottniska kusten varierar köldsumman under oktober–april i genomsnitt mellan 700 och 900 d.d., medan den i det östligaste Finland på motsvarande bredd är 1300–1400 d.d. (Helminen 1987). På våren och försommaren har

däremot havet en kylande inverkan på kustregionen. Havets utjämnande inverkan på temperaturförhållandena framgår av att både höst och vår blir längre jämfört med inlandet.

Den termiska växtperioden, med vilken avses den tid under året då dygnets medeltemperatur överstiger +5 °C, är mycket viktig för växtligheten. Växtperiodens längd vid kusten i Vasa län är i genomsnitt 155–165 dygn (Helminen 1988), vid kusten i Västerbottens län 140–160 dygn. Den värmesumma som ackumuleras under växtperioden varierar i Vasa läns och Västerbottens kustområde mellan 1000–1200 d.d. Vasaregionen har under växtperioden något högre medeltemperatur än angränsande områden.

Den kallaste månaden är januari i Sorseletrakten (-14 – -16 °C) och i nordliga delar av Skellefteå (figur 8). Annars förekommer kalla områden i de största älvdalarna. Högst är medeltemperaturen i januari (-6 – -9 °C) vid kusten söder om Bureå samt på Holmö. I Vasa läns kustområde varierar medeltemperaturen i januari från -6 till -8 °C.

Temperaturen under årets varmaste månad, juli, är lägst i fjällregionerna (+6 – +8 °C) såsom norra Storfjället och Artfjället i Sorsele samt i Storumans kommun eller i Marsfjällsområdet i Vilhelmina kommun (figur 8). Mot kusten blir det varmare. Den varma luftfronten (+15 – +16 °C) sträcker sig dock inte till hela kustlinjen. I Vasa läns kustområde är medeltemperaturen i juli +15 – +16 °C. Skillnaden mellan medeltemperaturerna under den varmaste och den kallaste månaden kan anses utgöra ett mått på den årliga temperaturväxlingen. Detta beskriver också områdets fastlandskaraktär. Vid Vasa läns kust är variationen ca +23 °C, och på motsvarande breddgrad i det östligaste Finland ca +28 °C (Helminen 1987). Åland har det mest utpräglade maritima klimatet av de finska landskapen, och där är skillnaden ungefär +19 °C.

Också temperaturens dygnsvariationer är mindre vid kusten än i inlandet. Dygnsvariationen är som störst på våren och sommaren och som minst på senhösten. I skärgården är den i genomsnitt +3 – +5 °C under alla årstiderna (Heino 1987). Vid kusten är variationen +6 – +11 °C, och i de sjöfattiga inlandsområdena i Österbotten överskrider den på sommaren +12 °C. På grund av havets temperaturutjämnande inverkan förekommer det knappt någon frost vid kusten och i skärgården.

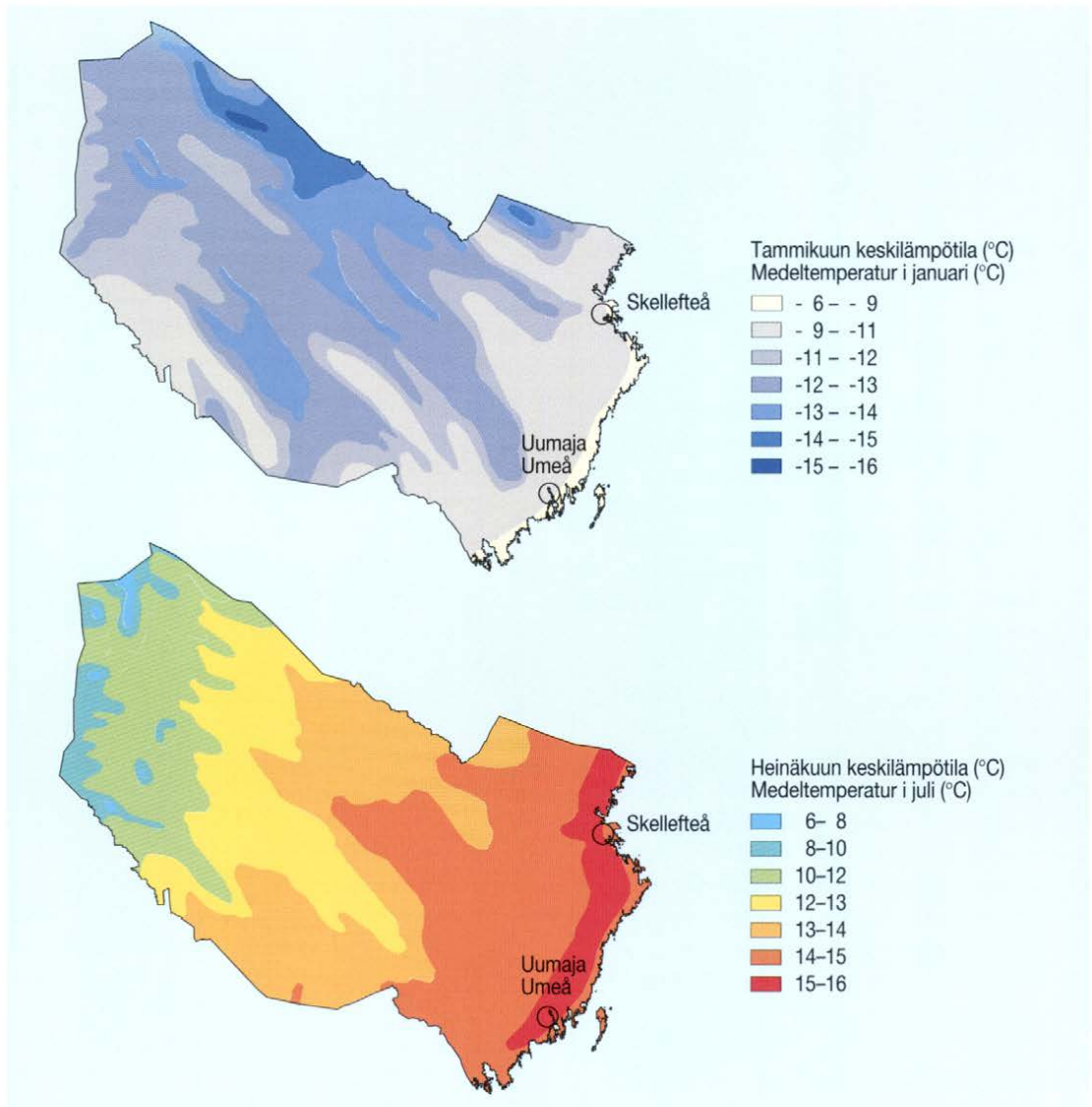
tasaavasta vaikutuksesta johtuen rannikolla ja saaristossa ei juuri esiinny hallaa.

## Tuuliolot

Kuten koko Pohjois-Skandinaviassa, etelän- ja lännenpuoleiset tuulet vallitsevat Vaasan läänin rannikolla, etenkin syksyllä ja talvella (kuva 9) (Sarkkula 1987). Kuitenkin kevät- ja kesäaikana myös pohjoistuulet ovat varsin tavallisia esimerkiksi Vaa-

san ja Kruunupyyn mittausasemilla, mikä poikkeaa eteläisemmän länsirannikon tuulioloista. Myöskään Västerbottenin läänissä etelätuulien hallitavuutta ei voi pitää yleispätevänä sääntönä, sillä varsinkin sisämaassa myös topografia, kuten laaksojen ja vaarojen suunnat, ohjailevat tuulta. Kesän aikana pohjoiset tuulet hallitsevat pohjoista Ruotsia josain määrin, kun taas läntiset tuulet hallitsevat talvella (kuva 10).

Rannikolla ja saaristossa on tuulisempaa kuin sisämaassa. Keskimääräinen vuotuinen tuulen



**Kuva 8.** Tammi- ja heinäkuun keskilämpötilat Västerbottenin läänissä normaalikautena 1961–90.  
**Figur 8.** Genomsnittstemperaturer i januari och juli i Västerbottens län under en normalperiod 1961–90.

## Vindförhållanden

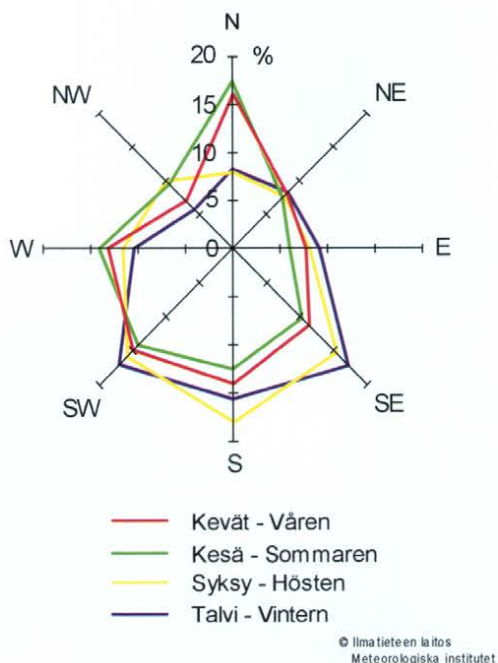
Såsom i hela norra Skandinavien råder sydliga och västliga vindar vid Vasa läns kust, framför allt på hösten och vintern (figur 9) (Sarkkula 1987). Under våren och sommaren är även nordliga vindar vanligt förekommande t.ex. vid Vasa och Kronoby mätningsstationer, vilket avviker från vindförhållandena längs den sydligare västkusten. Inte heller i Västerbottens län är sydliga vindars dominans någon allmängiltig regel, eftersom det speciellt i inlandet är de topografiska förhållandena såsom riktningen av dalar och berg som styr vindarna. Under sommaren är nordliga vindar i någon mån dominerande i norra Sverige, medan västliga vindar dominerar under vintern (figur 10).

Vid kusten och i skärgården blåser det mera än i inlandet. Den genomsnittliga årliga vindhastigheten är i Vasa 4 m/s och vid Valsörarna 6,5 m/s (Heino 1987). Vindarnas medelhastighet är i allmänhet störst på hösten och vintern och minst på sommaren. Det gäller även i fråga om frekvensen av hårda vindar. Orsaken är att området mycket oftare befinner sig i stormcentrum på vintern än på sommaren. Med andra ord är skillnaden i temperatur mellan ekvatorn och nordpolen större på vintern än på sommaren. Vid kuststationer och i fjälltrakterna har man uppmätt vindstyrkor på ca 35–40 m/s, medan vindstyrkan i skogsområden och bebyggda trakter i inlandet sällan överskrider 20 m/s. Vid kusten är det helt lugnt endast i 5–10 % av fallen medan motsvarande siffra i den yttre skärgården är så låg som 1 % (Heino 1987).

På våren och sommaren kan man vid kusten observera ett fenomen med land- och havsvindar, där det på natten förekommer svag vind från land ut till havs och på dagen en kraftigare vind i motsatt riktning. Förutsättningen för land- och havsvindsfenomenet är stora temperaturskillnader mellan fastlandet och havet och en stabil väderlekssituation. Skärgårdsområdet stör i någon mån landhavsvinden, men tidvis kan detta fenomen, närmast under försommaren, även observeras i Vasa (Heino 1987).

## Nederbörds- och snöförhållanden

Den årliga nederbörden uppgår i största delen av kusten och inlandet i Västerbottens län till ca



**Kuva 9.** Eri vuodenaikojen tuuliruusut (1961–90) Vaasan lentokentältä mitattuna.

**Figur 9.** Vindrosor för olika årstider (1961–90) mätt från Vasa flygfält.

600–700 mm. Inom det sydliga kustområdet finns det dock områden där nederbörden stiger till 700–800 mm. Också i länets mellersta och sydvästra delar finns i nordväst-sydost två områden där nederbörden är lika stor. Det finns ett klart samband mellan nederbörds- och jordmånskartan: där nederbörden är hög finner man kraftigt podsolerade områden. I fjällområdet är nederbörden betydligt högre och kan som högst stiga upp till 1300 mm nära den norska gränsen (figur 11). Däremot hör Vasa läns kustregion till södra Finlands regnfattigaste område. Den årliga regnmängden är där i genomsnitt 450–550 mm medan den i södra och östra Finland är ett par hundra millimeter högre (Solantie 1987).

Att den österbottniska kusten är regnfattig beror på flera olika faktorer. Nederbörden vid den österbottniska kusten minskar på grund av att nederbörden som kommer västerifrån avsätts över Kölenbergen under vinterhalvåret (oktober–april)

nopeus on Vaasassa 4 m/s ja Valassaarilla 6,5 m/s (Heino 1987). Tuulen keskinopeus on yleensä suurin syksyllä ja talvella, pienin kesällä. Tämä pätee myös kovien tuulten esiintymistiheyteen. Syynä on se, että alue sijaitsee paljon useammin myrskykeskuksessa talvella kuin kesällä. Toisin sanoen lämpötilaero päiväntasaajan ja pohjoisnavan välillä on suurempi talvella kuin kesällä. Rannikkoasemilla ja tunturiseuduilla on mitattu 35–40 m/s tuulen voimakkuuksia, mutta metsäalueilla ja asutuilla alueilla sisämaassa on harvoin yli 20 m/s tuulen voimakkuuksia. Rannikolla täysin tyyniä tilanteita esiintyy kaikista tapauksista 5–10 %, ulkosaaristossa vain 1 % (Heino 1987).

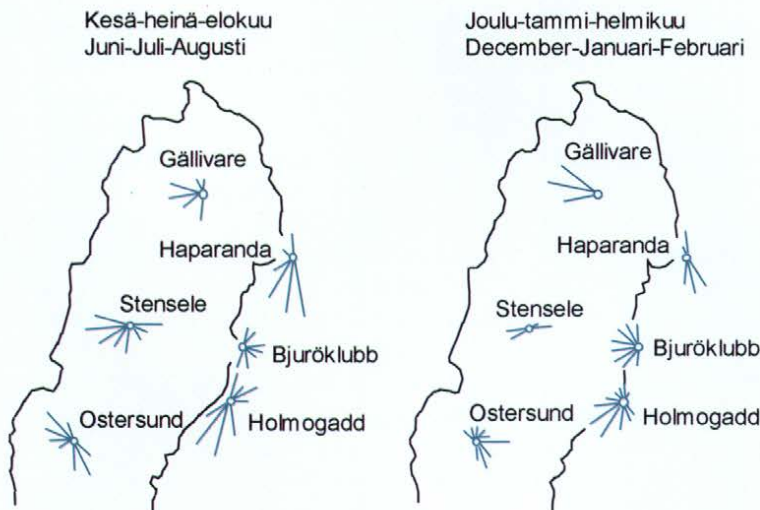
Keväällä ja kesällä rannikoilla on havaittavissa maa- ja merituuli-ilmiö, jossa yöllä on heikko tuuli maalta merelle ja päivällä voimakkaampi virtaus päinvastaiseen suuntaan. Edellytyksenä maa- ja merituuli-ilmiölle on suuri lämpötilaero mantereeseen ja meren välillä sekä laajamittaisista säähäiriöistä vapaa tilanne. Saaristoalue sekoittaa jonkin verran maa-merituulta, mutta se on aika ajoin – lähinnä alkukesästä – näkyvissä myös Vaasassa (Heino 1987).

## Sade- ja lumiolut

Vuotuinen sademäärä on suurimmalla osalla Västerbottenin läänin rannikkoa ja sisämaata noin 600–700 mm. Eteläisellä rannikolla on kuitenkin alueita,

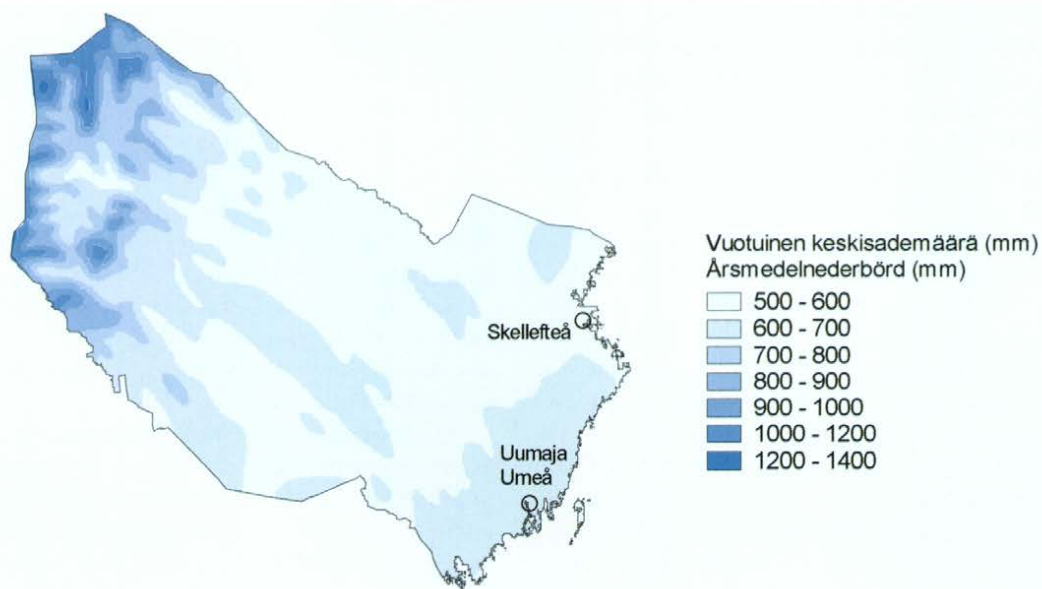
joilla sademäärä kohoaa 700–800 mm:iin. Myös läänin keski- ja lounaisosissa on kaksi luoteiskaakko-suuntaista kielekettä, joiden sademäärä on yhtä korkea. Sademäärä- ja maaperäkartan välillä on selvä yhteys: voimakkaasti podsoloituneilla alueilla sademäärä on suurin. Tunturialueella sademäärä on huomattavasti korkeampi kohoten jopa 1300 mm:iin lähellä Norjan rajaa (kuva 11). Sen sijaan Vaasan läänin rannikkoseutu on Etelä-Suomen vähäsateisinta aluetta. Vuotuinen sademäärä on keskimäärin 450–550 mm, kun se Etelä- ja Itä-Suomessa on parisataa millimetriä enemmän (Solantie 1987).

Pohjanmaan rannikon vähäsateisuuteen vaikuttavat useat tekijät. Yksi Pohjanmaan rannikon sademäärää vähentävä seikka on, että talvipuolella vuotta (loka–huhtikuussa) Kölivuoristo kuivattaa sen yli lännestä tulevia sadealueita (Solantie 1987). Tämän vuoksi sademäärä Suomessa kasvaa länsiluoteesta itäkaakkoon. Toinen vähäsateisuuteen vaikuttava seikka kytkeytyy Suomen yli itään kulkevien ns. okklusiorintamien ja niiden edellä liikkuvien sadealueiden luonteeseen (Solantie 1987). (Okklusio tarkoittaa matalapaineen kehitykseen liittyvää kylmän ja lämpimän rintaman yhtymistä.) Okklusioiden etupuolella tuulee kaakosta. Koska pilvet ovat talvipuolella vuotta matalalla, alueellinen sademäärä määräytyy pitkälti sen mukaan, miten maastomuodot pakottavat ilman nousemaan kaakkoistuulilla, jolloin ilma jäähtyy ja siinä oleva vesihöyry tiivistyy sateeksi. Perä-



**Kuva 10.** Vallitsevat tuulen suunnat Pohjois-Ruotsissa. Tuuliruusujen janat on piirretty suhteessa kustakin ilmansuunnasta tehtyihin havaintoihin (Ångström 1974).

**Figur 10.** Förhärskande vindriktningar i norra Sverige. Linjerna i "vindrosorna" är proportionella mot antalet observationer av vindriktningen i fråga (Ångström 1974).



**Kuva 11.** Vuotuinen keskisademäärä (mm) Västerbottenin läänissä normaalikautena 1961–90.

**Figur 11.** Den årliga medelnederbörden (mm) i Västerbottens län under en normalperiod 1961–90.

(Solantie 1987). Därför ökar regnmängden i Finland från västnordväst till östsydost. En annan faktor som bidrar till den låga nederbörden är de s.k. ocklusionsfronterna och regnområden som rör sig framför dem (Solantie 1988). (Med ocklusion avses mötet mellan kall och varm front). Framför ocklusionsfronterna blåser sydostliga vindar. Eftersom molnen under vinterhalvåret ligger lågt, bestäms den regionala nederbördsmängden till stor del av hur topografin tvingar luften att stiga vid sydostliga vindar, då luften svalnar och vattenångan kondenseras till regn. Bottenvikens kust samt den del av Österbotten som ligger mellan kusten och Suomenselkä är regnfattiga områden, eftersom de är belägna vid nordvästra utkanten av landets sydliga del. Här sjunker luften vid sydöstliga vindar från Suomenselkä till Bottenviken.

På sommaren ligger regnmolnen högre än på vintern, och topografin påverkar knappast nederbördens regionala fördelning. Underlagets värmegenskaper har då en större betydelse än topografin (Solantie 1988). På eftermiddagarna stiger luften kraftigare ovanför det uppvärmda fastlandet än ovanför det svalare havet. Då luften stiger tillräckligt högt upp börjar vattenångan kondenseras. De moln som uppstår på detta sätt regnar ner som eftermiddagsskurar. Vid kusten finns på försomma-

ren och mitt under sommaren en remsa som är soligare och regnfattigare än inlandet, eftersom havsvindarna för med sig eventuella skurmoln längre in över landet. Därför hör Vasa läns kust även på sommaren till Finlands regnfattigaste områden. Av samma skäl hör Vasa med omgivning till landets soligaste trakter. Antalet soltimmar under året är här nästan 1900, medan det i östligaste Finland är i genomsnitt 300 timmar färre (Solantie 1988).

I västra Finland kommer ungefär en tredjedel av nederbörden i form av snö (Solantie 1988). Österbotten är regnfattigt om vintern, och därav kommer att i Nyland är snöns andel av nederbörden större trots det sydligare läget. I Vasa läns kustområde är maximisnödjupet på vintern ca 40 cm medan det i de östligaste delarna av Finland är dubbelt så mycket. Västerbottens län är däremot snörikt: i största delen av länet är snödjupet 80–89 cm, men minskar till 60–70 cm mot kusten (figur 12). Tjockast är snötäcket i fjällområdena, 120–130 cm eller mera, såsom på Savfjället och näraliggande områden i Vilhelmina kommun.

Ett bestående snötäcke får den österbottniska kusten kring den tionde december, medan snön i Västerbottens kustområde kommer mellan ungefär en vecka och nästan en månad tidigare (Solantie

meren rannikko sekä rannikon ja Suomenselän väliin jäävä osa Pohjanmaata ovat vähäsateisia, sillä ne sijaitsevat Suomen eteläosan luoteisreunalla, jolloin kaakkoistuulilla ilma laskeutuu Suomenselältä Perämerelle.

Kesällä sadepilvet ovat korkeammalla kuin talvella, eivätkä maastomuodot juurikaan vaikuta sademäärien alueelliseen jakautumiseen. Tällöin alustan lämpöominaisuuksilla on maastumuotoja suurempi merkitys (Solantie 1987). Iltapäivisin lämmentyneen mantereen yläpuolella ilman nousuliike on voimakkaampaa kuin viileämmän meren yllä. Ilman noustessa kyllin korkealle siinä oleva vesihöyry alkaa tiivistyä. Näin muodostuvat pilvet satavat alas iltapäiväkuuroina. Rannikolle jää alkua keskikesällä sisämaata aurinkoisempi ja vähäsateisempi kaistale, sillä merituuli vie mahdollisesti syntyneet kuuropilvet sisämaahan. Niinpä Vaasan läänin rannikko on kesälläkin Suomen vähäsateisinta aluetta. Samasta syystä Vaasan ympäristö on Suomen aurinkoisimpia seutuja. Auringonpaistetuhteja kertyy vuodessa lähes 1900, kun niiden määrä itäisimmässä Suomessa on keskimäärin 300 tuntia vähemmän (Solantie 1987).

Länsi-Suomessa noin kolmannes sadannasta



*Juurikäävän lahottamat kuuset ovat alltiita myös myrskytuhoille. Kuva: Erkki Oksanen.*

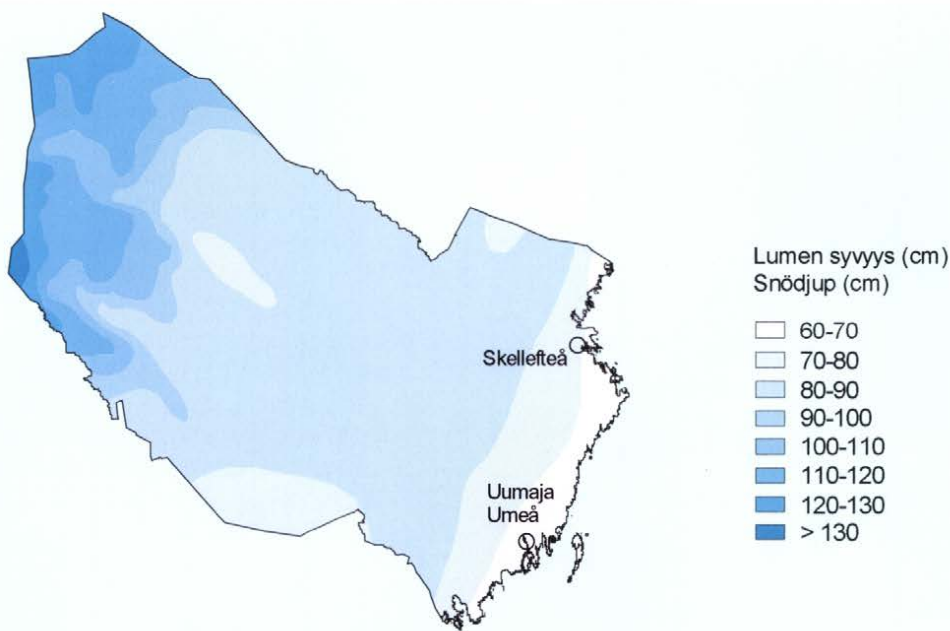
*Granar som lider av rottröta skadas även lätt av stormar. Foto: Erkki Oksanen.*

tulee lumena (Solantie 1987). Pohjanmaan talvikaikaisesta vähäsateisuudesta johtuu, että Uudella maalla lumen osuus sadannasta on suurempi sen eteläisemmästä sijainnista huolimatta. Talven suurin lumensyvyys on Vaasan läänin rannikolla noin 40 cm, kun se itäisimmässä Suomessa on kaksinkertainen. Sen sijaan Västerbottenin lääni on runsaslumista seutua: suurimmassa osassa lääniä suurin lumensyvyys on 80–90 cm, mutta se vähenee 60–70 cm:iin rannikkoa kohti (kuva 12). Lumipeite on syvin tunturialueella, 120–130 cm tai enemmän, kuten Savfjället-tunturilla ja sen ympäristössä Vilhelminan kunnassa.

Pysyvä lumipeite saadaan Pohjanmaan rannikolle joulukuun 10. päivän tienoilla, Västerbottenin läänin rannikolle lumipeite tulee viikko–kuukautta aikaisemmin (Solantie 1987). Lumipeiteaika aukeilla maillo vaihtelee Vaasan läänin rannikolla 130–140, Västerbottenin rannikolla 140–180 ja sisämaassa sekä tunturialueella 180–240 vuorokautta.

## Routa

Maa routaantuu talveksi keskimäärin silloin, kun ilman lämpötilan keskiarvo on laskenut  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n paikkeille, Pohjanmaalla yleensä marraskuun loppupuolella (Solantie 1987). Roudan syvyyteen vaikuttavista tekijöistä tärkeimpiä ovat pakkassumma ja lumen syvyys (Huttunen ja Soveri 1993). Roudan syvyyden on todettu Suomessa olevan kääntäen verrannollinen lumen keskisyvyyteen, koska lumi on tehokas eriste (Soveri ja Varjo 1977). Juuri vähälumisuuudesta johtuen routakauden pituus on Vaasan läänin rannikolla ja koko Länsi-Suomen alueella pidempi kuin runsaslumisilla alueilla Itä-Suomessa, jossa paksusta lumipeitteestä johtuen roudan syvyys jää vähäiseksi suuremmasta pakkassummasta huolimatta. Vesi- ja ympäristöhallituksen mittauksissa talvien 1971/1972–1989/1990 suurin roudansyvyyden keskiarvo aukealla paikalla on ollut Ylistarossa 30 cm ja Lieksassa 12 cm (Huttunen ja Soveri 1993). Selvä ero näkyy myös routakauden pituudessa, joka Ylistarossa on ollut keskimäärin 151 ja Lieksassa 122 vuorokautta. Vastaavasti Västerbottenin rannikkoalueella Röbäckslättenissä suurin roudansyvyys kaudella 1962–86 on ollut 43–54 cm ja routakauden pituus noin 180 vuorokautta.



**Kuva 12.** Suurin lumensyvyys keskimäärin Västerbottenin läänissä normaalikautena 1961–90.  
**Figur 12.** Medeltal av maximalt snödjup i Västerbottens län under en normalperiod 1961–90.

1987). Den tid då snötäcket ligger kvar varierar på öppna ställen i Vasa läns kustområde mellan 130–140 dygn, i Västerbottens kustområde 140–180 dygn och i inlandet samt i fjällområdet 180–240 dygn.

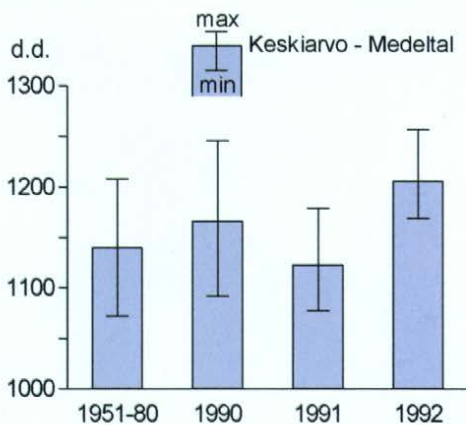
## Tjäle

Tjälbildningen i marken inträffar i allmänhet då luftens medeltemperatur har sjunkit till  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , i Österbotten i allmänhet i slutet av november (Solantie 1987). De viktigaste faktorerna som påverkar tjälens djup är köldsumman och snödjupet (Huttunen och Soveri 1993). Man har konstaterat att tjälens djup i Finland är omvänt proportionellt mot snöns medeldjup, eftersom snön isolerar effektivt (Soveri och Varjo 1977). Eftersom snötäcket är tunt i Vasa läns kustområde och i hela västra Finland, är tjälperioden längre än i de områden i östra Finland som har rikligt med snö, där tjälen på grund av det tjocka snötäcket inte är lika djup trots att köldsumman är högre. I Vatten- och miljöstyrelsens mätningar under vintrarna 1971/1972–1989/1990 har medeltalet av det maximala tjäldjupet på öppna plats i Ylistaro varit 30 cm

och i Lieksa 12 cm (Huttunen och Soveri 1993). En klar skillnad finns också i tjälperiodens längd, som i Ylistaro varit i genomsnitt 151 dygn och i Lieksa 122 dygn. I Västerbottens kustområde vid Röbäcksslätten har tjälens maximidjup under perioden 1961–86 varit 43–54 cm, medan den tid marken varit tjälbunden har varit ungefär 180 dygn.

Jordmånens fysikaliska struktur och hydrologiska förhållanden, såsom grundvattnets nivå, påverkar också tjälbildningen i marken (Soveri och Varjo 1977). Tjälbildningen och -smältningen sker snabbare och tjälen tränger djupare ner i grova och fuktiga än i fina och torra jordarter. Torvens värmeledningsförmåga är mindre och värmekapaciteten större än i fråga om mineraljordar. Därför tränger tjälen inte så djupt på myrar och i försumpade marker, men den sitter i stället kvar längre på våren. I Vasa kustregion främjar landhöjningen försumpningen av skogsmarkerna. Detta tillsammans med den ringa snömängden och en finfördelad, svagt genomsläpplig moränjord gör de steniga skogsmarkerna i Vasa kustregion mycket tjälbundna.

I skogen beror tjäldjupet förutom på ovan nämnda faktorer också på trädslaget och mängden träd i beståndet (Yli-Vakkuri 1960, Mustonen 1966). I täta granskogar tränger tjälen djupare ner



**Kuva 13.** Havaintokuusikoiden estimoidun lämpösumman vaihtelu (Ojansuu ja Henttonen 1983) Pohjanmaalla jaksolla 1951–80 sekä tutkimusvuosina 1990, 1991 ja 1992.

**Figur 13.** Variationen av värmesumman som beräknats för försöksgranskogarna (Ojansuu och Henttonen 1983) i Österbotten under perioden 1951–80 samt under forskningsåren 1990, 1991 och 1992.

Myös maaperän fysikaalinen rakenne ja vesiolot, kuten pohjavesipinnan taso, vaikuttavat maan routimiseen (Soveri ja Varjo 1977). Roudan muodostuminen ja sulaminen tapahtuvat nopeammin ja syvemmälle karkeissa ja kosteissa kuin hienoissa ja kuivissa maalajeissa. Turpeen lämmönjohtavuus on pienempi ja lämpökapasiteetti suurempi kuin kivennäismaiden. Siksi suot ja soistuneet kangasmaat eivät routaannu syvälle, mutta niissä routa säilyy keväällä pitkään. Vaasan rannikkoseudulla maan kohoaminen nopeuttaa metsämaiden soistumista. Tämä yhdessä vähälumisyyden ja hienojakoisen, heikosti vettä läpäisevän moreenimaa-

perän kanssa tekee Vaasan rannikkoseudun lohka-reisista metsämaista voimakkaasti routivia.

Metsässä roudan syvyys riippuu edellä mainittujen tekijöiden lisäksi puulajista ja puuston määrästä (Yli-Vakkuri 1960, Mustonen 1966). Tiheissä kuusimetsissä maa routautuu syvemmälle kuin aukeilla mailla, koska lumi pidättyy oksistoon eikä muodosta suojaavaa kerrosta maan pinnalle. Sitä vastoin lehti- ja mäntymetsissä routaa muodostuu jopa vähemmän kuin aukeilla, koska puusto kasauttaa lumipeitteen maaperän suojaksi. Metsissä maa routautuu suunnilleen samaan aikaan kuin aukeilla mailla, mutta on paljon epäyhtenäisempi epätasaisesta lumipeitteestä johtuen. Routa sulaa etenkin kuusimetsissä hitaammin kuin aukeilla mailla, koska auringonsäteilyn lämpö- ja valenergia jää suureksi osaksi latvustoon.

## Tutkimusvuosien 1990–92 sääolot

Leudot, sateiset syksyt ja talvet luonnehtivat 1990-luvun alkuvuosien sääoloja. Vuoden keskilämpötilat ovat olleet normaalia korkeampia. Poikkeuksen muodostaa vuoden 1992 syksy, jolloin lumipeite ja talvipakkaset tulivat poikkeuksellisen aikaisin jo lokakuussa.

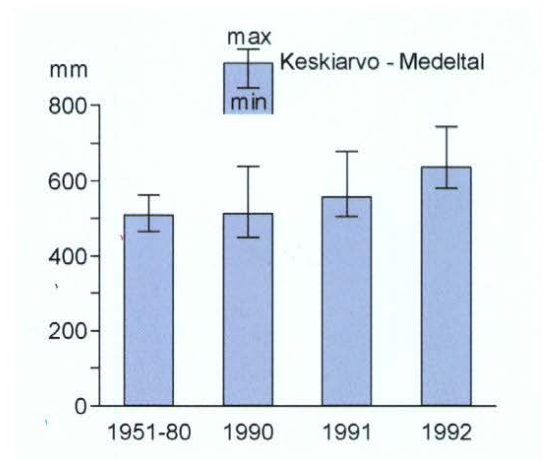
Vuosista 1990–92 vuosi 1992 oli Vaasan läänin rannikolla sekä lämpösummaltaan että sademäärältään suurin (kuvat 13 ja 14). Lämpösumma vaihteli tuolloin 1170–1260 d.d. (vrk°C) ja vuotuinen sademäärä 580–740 mm. Vuosien 1990 ja 1991 lämpösumma ja sademäärä olivat lähempänä keskimääräisiä arvoja. Tietyissä osissa Västerbottenin läänin rannikkoa sademäärä oli vuosina 1990 ja 1992 yli 30 % normaalia suurempi.

än på öppna platser, eftersom snön blir kvar i grenverket i stället för att bilda ett skyddande skikt på markytan. Däremot är tjälbildningen i löv- och tallskogar till och med mindre än på öppna platser, eftersom trädbeståndet gör att det bildas skyddande anhopningar av snö. I skogarna börjar tjälbildningen ungefär samtidigt som på öppna platser, men är mycket ojämnare på grund av snötäcket. Framför allt i granskogar smälter snön långsammare än på öppna platser, eftersom solstrålningens värme- och ljusenergi till stor del stannar kvar i trädkronorna.

## Väderleksförhållanden under forskningsåren 1990–92

Kännetecknande för väderleksförhållandena under de första åren på 1990-talet har varit milda, regniga höstar och vintrar. Medeltemperaturen under året har varit högre än normalt. Ett undantag är hösten 1992, då snötäcket och kölden kom ovanligt tidigt, redan i oktober.

Av åren 1990–92 hade år 1992 både den högsta värmesumman och den största nederbörden (figurerna 13 och 14). Värmesumman varierade då mellan 1 170 och 1 260 daggrader (d.d.) och den årliga nederbörden mellan 580 och 740 mm. Under åren 1990 och 1991 var både värmesumman och



**Kuva 14.** Havaintokausikoiden estimoidun vuotuisen sademäärän vaihtelu (Ojansuu ja Henttonen 1983) Pohjanmaalla jaksolla 1951–80 sekä tutkimusvuosina 1990, 1991 ja 1992.

**Figur 14.** Variationen av den årliga nederbörden som uppskattats för försöksgranskogarna (Ojansuu och Henttonen 1983) i Österbotten under perioden 1951–80 samt under forskningsåren 1990, 1991 och 1992.

nederbörden närmare de genomsnittliga värdena. I vissa delar av kusten i Västerbottens län var nederbörden under åren 1990 och 1992 mer än 30 % större än normalt.



# PÄÄSTÖT, ILMAN LAATU JA LASKEUMA UTSLÄPP, LUFTKVALITET OCH NEDFALL

Christer Lundgren, Lennart Mattsson, Päivi Merilä & Jarmo Osmo

*Ilman rikkidioksidipitoisuuksien pitkäaikaiskeskiarvot ovat nykyisin hyvin matalia sekä taajamissa että tausta-alueilla koko Merenkurkun alueella; korkeampia lyhytaikaisia pitoisuuksia voidaan mitata lähellä suuria päästölähteitä. Tausta-alueiden tyypidioksidipitoisuudet ovat myös suhteellisen matalia, mutta vilkasliikenteisillä keskusta-alueilla pitoisuudet voivat kohota korkeiksi. Otsonipitoisuuksien raja-arvot, joita pidetään kasvillisuudelle haitallisina, ylittyvät Merenkurkun molemmilla puolilla.*

*Rikki- ja typpiyhdisteiden laskeumassa on Västerbottenin läänissä havaittavissa itä-länsi-vaihtelu, jossa suurin laskeuma tulee rannikolle ja pienin tuntureille. Pohjanmaalla laskeuma pienenee etelästä pohjoiseen siirryttäessä. Kaikkiaan rikkidioksidipäästöt ovat Pohjanmaalla noin kaksi kertaa niin suuret kuin Västerbottenin läänissä. Vuosijaksolla lokakuu 1993 – syyskuu 1994 avoimen paikan sulfaattirikkilaskeuma vaihteli tutkimusalueella 1,1–5,7 kg/ha, nitraattityypilaskeuma 0,6–2,7 kg/ha, ammoniumtyypilaskeuma 0,7–3,5 kg/ha ja vetyionilaskeuma 0,03–0,2 kg/ha. Rikin kuivalaskeuma oli pienin Västerbottenin tuntureilla ja suurin Suupohjan alueella Närpiössä.*

*Luftens svaveldioksidhalter som långtidsmedelvärde är numera mycket låga både i tätorter och i bakgrundsområden i hela Kvarkenregionen. Högre korttidshalter kan man mäta nära stora utsläppskällor. Kvävedioxidhalterna i bakgrundsmiljön är också relativt låga, men i livligt trafikerade stadsområden kan halterna stiga till höga nivåer. Halterna av ozon, som anses vara skadliga för växtligheten, överskrids på båda sidorna av Kvarken.*

*Nedfallet av svavel- och kväveföreningar uppvisar i Västerbottens län en östvästlig gradient med störst nedfall vid kusten och lägst i fjällen. I Österbotten är gradienten mer syd-nordlig. Totalt sett är utsläppen av svaveldioxid ungefär dubbelt så stora i Österbotten som i Västerbotten. Under årsperioden oktober 1993 – september 1994 varierade sulfatsvavelnedfallet 1,1–5,7 kg/ha, nitratkvävenedfallet 0,6–2,7 kg/ha, ammoniumkvävenedfallet 0,7–3,5 kg/ha och vätejonnedfallet 0,03–0,2 kg/ha på öppen plats i forskningsområdet. Torrdepositionen av svavel var minst i Västerbottens fjällregion och störst i Sydösterbotten i Närpes.*

*Energiantuotanto ja liikenne ovat merkittäviä päästölähteitä myös Merenkurkun alueella. Kuva Vaasan satamasta syksyllä 1995. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Även i Kvarkenregionen är energiproduktion och trafik betydande utsläppskällor. Foto från Vasa hamn hösten 1995. Foto: Erkki Oksanen.*

## Johdanto

Metsien terveydentilan tutkimuksessa on tärkeää tuntea tutkimusalueen ilmansaaste-tilanne, jotta voidaan arvioida epäpuhtauksien osuutta havaittuihin metsävaurioihin. Päästökartoituksessa koottiin yhteen rikkidioksidin, typpioksidin, haihtuvien orgaanisten aineiden, metallien ja ammoniakkin päästölähteet Västerbottenin läänissä ja Vaasan läänin rannikolla. Ensisijaisesti käytettiin vuoden 1992 päästötietoja, lukuunottamatta tieliikennettä ja työkoneita molempien maiden osalta sekä merenkulkua ja rautatieliikennettä Ruotsin osalta, joissa tiedot ovat vuodelta 1990.

Esitettävät päästömäärät perustuvat osin laitoskohtaisiin päästötietoihin ja osin kansallisten tilastojen perusteella tehtyihin laskelmiin. Pohjamateriaali on siis vaihtelevaa, ja luvut ovat siksi pyöristettyjä. Tulokset osoittavat ensi sijassa päästöjen suuruusluokan.

Ilmanlaadun osalta aineistona on käytetty tausta-alueilla ja taajamissa tehtyjä ilman epäpuh-

tauksien pitoisuusmittauksia. Laskeumatiedot perustuvat metsikössä ja avoimella paikalla tehtyihin laskeumamittauksiin sekä Suomen ympäristökeskuksen mittauspisteistä saatuihin tuloksiin.

## Päästöt ilmaan

Päästöselvitykseen kuului 26 Vaasan läänin ja 15 Västerbottenin läänin kuntaa, joista koottiin tiedot teollisuuden ja energiantuotannon sekä tieliikenteen, työkoneiden ja rautateiden päästöistä. Västerbottenin läänissä mukana olivat myös laskelmat merenkulun, lentoliikenteen ja huoltoasemien päästöistä. Ammoniakkipäästöjen osalta on tehty laskelmia, joihin sisältyvät teollisuuden, maatalouden ja turkistarhauksen päästöt.

Ilmaan joutuvien päästöjen kartoituksessa on käytetty eri tietolähteitä. Osittain on voitu käyttää kansallisia tilastoja, osittain laitoskohtaisia tietoja (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Päästöjen kartoituksessa käytetyt tietolähteet.

**Tabell 1.** Informationskällor, som har använts vid kartläggning av utsläpp.

Päästölähde - Utsläppkälla	Tietolähde - Informationskälla	
	Ruotsi - Sverige	Suomi - Finland
Teollisuus Industri	Ympäristöraportit ja öljyn toimitusmäärät Miljörapporter och oljeleveransmängder	Ilmansuojelun tietorekisteri Luftskyddets dataregister
Energiantuotantolaitokset Energianläggningar	Ympäristöraportit ja öljyn toimitusmäärät Miljörapporter och oljeleveransmängder	Ilmansuojelun tietorekisteri ja öljyn toimitusmäärät Luftskyddets dataregister och oljeleveransmängder
Tieliikenne Vägtrafik	Tielaitos Vägverket	Tilastokeskus 1992 Statistics Finland 1992
Työkoneet Arbetsmaskiner	Tilastokeskus Statistiska Centralbyrån	Puranen 1992 ja Autorekisterikeskus Puranen 1992 och Bilregister-centralen
Merenkulku Sjöfart	Tilastokeskus Statistiska Centralbyrån	Ei arvioita Inga uppskattningar
Rautatiet Järnväg	Tilastokeskus Statistiska Centralbyrån	Valtionrautatiet, polttoaineenkulutus Statsjärnvägar, bränsleförbrukning
Lentoliikenne Flyg	Ympäristöraportit Miljörapporter	Ei arvioita Inga uppskattningar
Huoltoasemat Bensinstationer	Moottoribensiinin toimitukset Leveranser av motorbensin	Ei arvioita Inga uppskattningar

## Inledning

När det gäller forskning om skogens hälsotillstånd är det viktigt att känna till luftföroreningsituationen inom forskningsområdet, för att kunna bedöma deras andel i de skogsskador som observerats. Utsläppskällorna för svaveldioxid, kväveoxid, flyktiga organiska ämnen, metaller och ammoniak har kartlagts och sammanställts i Västerbottens län och i Vasa läns kustområde. Sammanställningen gäller i första hand för utsläpp under 1992, förutom vägtrafiken och arbetsmaskiner i båda länderna samt sjöfarten och järnvägen i Sverige, som alla har värden från 1990.

Utsläppsmängder som redovisas här bygger dels på uppgifter från de olika anläggningarnas miljörapporter dels på beräkningar utifrån nationell statistik. Underlagsmaterialet är alltså av skiftande kvalitet och därför är siffrorna avrundade och skall i första hand ses som storleksangivelser.

Vad luftkvalitet gäller, har man som källmaterial använt mätningar av luftens halt av föroreningar i bakgrundsmiljö och i tätorter. Depositionsuppgifterna baserar sig på mätningar som har gjorts i skogsbevuxen och i öppen terräng samt på mätresultat från Finlands Miljöcentrals övervakningsstationer.

## Utsläpp till luft

I utredningen om utsläppssituationen ingick 26 kommuner i Vasa län och 15 kommuner i Västerbottens län. I de här kommunerna samlade man uppgifter om utsläppen vid industri och energiproduktion samt om utsläpp från vägtrafiken, arbetsmaskiner och järnvägar. I Västerbottens län har man också haft med utsläppskalkyler ifrån sjöfart, flyg och bensinstationer. För ammoniakutsläppens del har man gjort kalkyler, där utsläppen från industrier, jordbruk och pälsdjursnäring ingår.

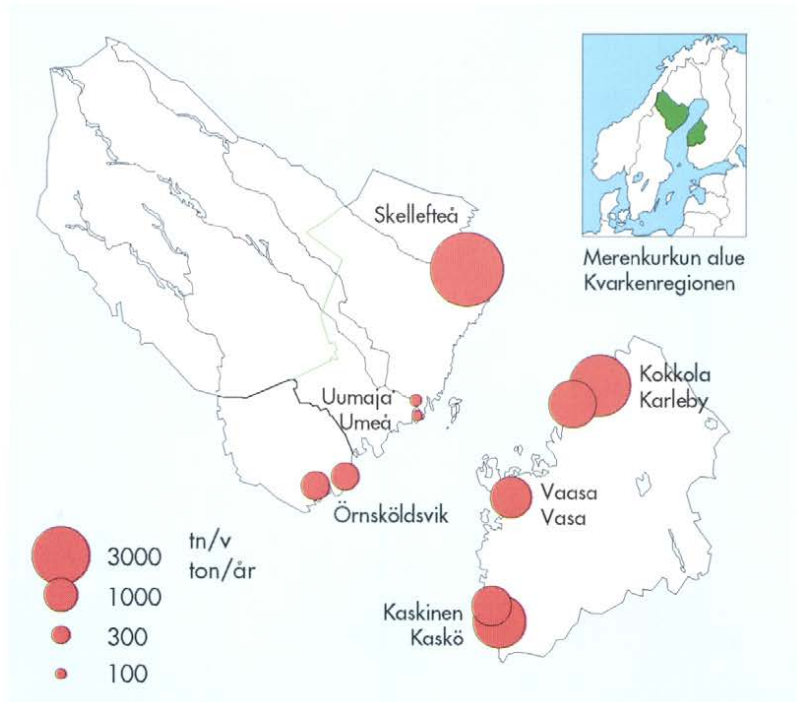
Vid kartläggning av utsläpp till luft inom forskningsområdet har olika informationskällor använts. Dels har man kunnat använda nationell statistik och dels information över enskilda anläggningar (tabell 1).

## Utsläpp av svaveldioxid

De största källorna av svaveldioxidutsläpp inom Kvarkenregionen utgörs av industri- och energi-anläggningar, som tillsammans svarar för över 80 % av utsläppen. Dessa anläggningar är lokaliserade utefter den svenska och finska kusten (figur 1).

**Kuva 15.** Suurimmat rikkidioksidipäästöt Merenkurkun alueella vuonna 1992.

**Figur 15.** De största svaveldioxidutsläppen i Kvarkenregionen år 1992.



## Rikkidioksidipäästöt

Suurimmat rikkidioksidin päästölähteet Merenkurkun alueella ovat teollisuus- ja energiantuotantolaitokset, jotka yhdessä vastaavat yli 80 %:sta päästöistä. Nämä laitokset sijaitsevat Ruotsin ja Suomen rannikkokaupungeissa (kuva 15). Rönnskärsverkenin tehtaat Skelleftehamnissa ovat Västerbottenin läänin ylivoimaisesti suurin päästölähde. Vuonna 1992 näiltä tehtailta pääsi ilmaan 4 900 tn rikkidioksidia (Lundgren 1994). Pohjanmaalla on sitä vastoin useita suuria lähteitä, jotka sijaitsevat rannikkokaupungeissa: Kokkolassa, Pietarsaassa, Vaasassa, Kaskisissa ja Kristiinankaupungissa. Päästölähteet ovat energiantuotantolaitoksia ja puunjalostusteollisuuden tehtaita. Kaikkiaan rikkidioksidipäästöt ovat Pohjanmaalla noin kaksi kertaa niin suuret kuin Västerbottenissa. Tämä johtuu siitä, että Suomen energiantuotanto perustuu suurelta osin fossiilisiin polttoaineisiin, kun taas Ruotsissa käytetään enemmän vesivoimaa.

Kaukolämpölaitokset ovat yleensä merkittävimmät rikkidioksidilähteet pienemmissä Vaasan läänin rannikkoseudun kunnissa, joiden rikkidioksidipäästöt alittavat 300 tn/v (Osmo ja Raitio 1994). Närpiössä päästöt ovat yli 1 000 tn/v, mikä johtuu ennen kaikkea kasvihuoneiden lämmityksestä. Kaikissa Västerbottenin läänin kunnissa lukuunottamatta Skellefteåta, Uumajaa ja Roberts-

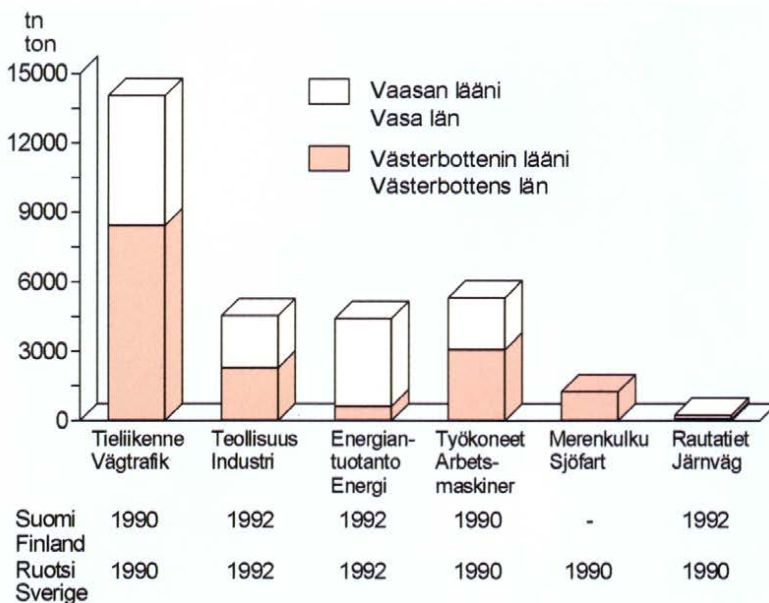
forsia rikkidioksidipäästöt ovat alle 100 tn/v.

Merenkulun rikkidioksidipäästöjen osuus on Västerbottenin läänissä arvioitu noin kuudeksi prosentiksi. Suomessa meriliikenteen osuutta ei ole arvioitu. Tieliikenteen ja työkoneiden osuus on pieni molemmissa maissa.

## Typen oksidien päästöt

Typen oksidien kokonaispäästöt tutkimusalueella vuonna 1992 olivat noin 28 000 tn. Typen oksidien päästöt aiheutuvat suurimmaksi osaksi liikenteestä, jonka osuus on 50 % kokonaispäästöistä. Työkoneet ovat seuraavaksi suurin lähde, jonka jälkeen tulevat teollisuus ja energiantuotanto. Vaasan läänissä energiantuotanto ja teollisuus ovat merkittävämpiä päästölähteitä kuin Västerbottenin läänissä. Västerbottenin läänissä merenkulun osuus on myös merkittävä (9 %). Vaasan läänissä sitä ei ole arvioitu (kuva 16).

Typen oksidien päästöissä asukasluvultaan suurimmat kunnat ovat vastuussa suurimmista päästömääristä. Näitä ovat Uumaja, Skellefteå, Örnköldsvik, Kokkola, Pietarsaari ja Vaasa. Tämä on luonnollista, koska niihin sijoittuu suurin osa tieliikenteestä ja paljon kiinteistökohtaista lämmitys-



**Kuva 16.** Västerbottenin ja Vaasan läänin rannikon eri päästösektoreiden eri päästösektoreiden typen oksidien päästöt.

**Figur 16.** Utsläpp av kväveoxider från olika sektorer i Västerbottens län och i Vasa läns kustområde.

15). I Västerbotten dominerar en enda källa, Rönn-skärsverken i Skelleftehamn, som släppte ut 4 900 ton svaveldioxid 1992 (Lundgren 1994). I Österbotten finns det ett flertal stora källor, som är belägna i kuststäderna: Karleby, Jakobstad, Vasa, Kaskö och Kristinestad. De utgörs av kraftverk för energiproduktion och träförädlingsindustrier. Totalt sett är utsläppen av svaveldioxid ungefär dubbelt så stora i Österbotten som i Västerbotten, vilket beror på att man i Finland till stor del baserar energiproduktionen på fossila bränslen medan man i Sverige har tillgång till vattenkraft.

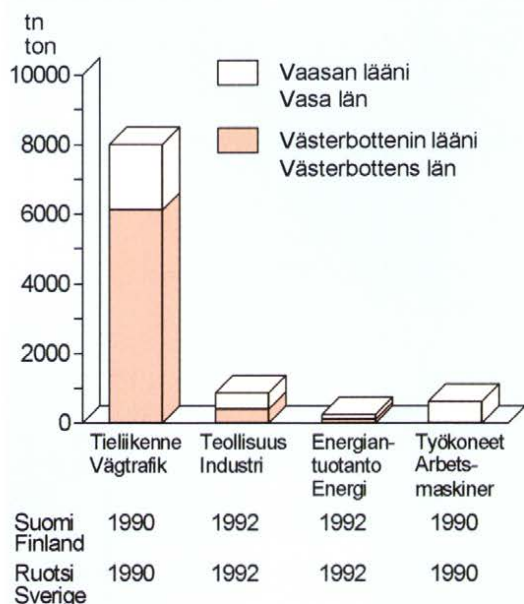
Fjärrvärmeverk är i allmänhet den mest betydande utsläppskällan av svaveldioxid i de mindre kommunerna. Deras svaveldioxidutsläpp i Vasa läns kustområde underskrider 300 ton/år. Närpes är ett undantag och där överskrider utsläppen av svaveldioxid 1 000 ton per år (Osma och Raitio 1994). I Närpes kommer utsläppen framför allt från uppvärmning av växthus. I Västerbottens län förekommer i alla kommuner utom Skellefteå, Umeå och Robertsfors svaveldioxidutsläpp, som är klart under 100 ton/år.

Sjöfarten är också en källa till svaveldioxidutsläpp och i Västerbottens län är dess andel uppskattad till ca 6 %. I Finland har man inte uppskattat sjötrafikens andel. Vägtrafiken och arbetsmaskinerna har en liten andel i båda länderna.

## Utsläpp av kväveoxider

När det gäller utsläpp av kväveoxider inom forskningsområdet så är vägtrafiken den största källan med 50 % av det samlade utsläppet, som 1992 uppgick till ca 28 000 ton. Arbetsmaskiner är den näst största källan följd av industri och energiproduktion. I Vasa län är energiproduktion och industri viktigare utsläppskällor än i Västerbottens län. I Västerbottens län har sjöfarten också en betydande andel (9 %), i Vasa län har man inte uppskattat sjöfartens utsläpp (figur 16).

I fråga om kväveoxidutsläpp står kommunerna med de största invånarmängderna också för de stora utsläppsmängderna; Umeå, Skellefteå, Örnsköldsvik, Karleby, Jakobstad och Vasa. Det är naturligt eftersom de också har den största andelen vägtrafik och mycket fastighetsvis värmeproduktion. Växthusodlingens kraftiga koncentration till Närpes visar sig även när det gäller utsläpp av kväveoxider.



**Kuva 17.** Västerbottenin ja Vaasan läänin rannikon eri päästösektoreiden haihtuvien orgaanisten aineiden päästöt.

**Figur 17.** Utsläpp av flyktiga organiska ämnen från olika sektorer i Västerbottens län och i Vasa läns kustområde.

## Utsläpp av flyktiga organiska ämnen

Vägtrafiken är helt dominerande även när det gäller utsläpp av VOC (Volatile Organic Compounds, flyktiga organiska ämnen) och står för 80 % av forskningsområdets totala utsläpp på ca. 10 000 ton (figur 17). Det finns ändå tydliga skillnader på emissionsfaktorer vad gäller vägtrafiken. I Finland har man uppskattat vägtrafikens VOC-utsläpp till att vara mindre än i Sverige.

Arbetsmaskiner och industri är de näst största utsläppskällorna. Inom industrin avspeglar utsläppen förbrukning av lösningsmedel, lagring av oljeprodukter och cellulosaindustrins verksamhet.

Utsläppen från energiproduktion har troligen underskattats kraftigt, eftersom den småskaliga vedeldningen, som ger de högsta emissionerna, inte är med i beräkningarna. Vedeldningens omfattning är svår att kartlägga, men enligt nationella uppskattningar (Statistiska Centralbyrån 1994, Ympäristöministeriö 1992) kan man anta att vedeldningens VOC-utsläpp kunde vara över 90 % av de totala utsläppen inom energisektorn.

tä. Kasvihuoneviljelyn voimakas keskittyminen Närpiöön näkyy myös typen oksidien päästöissä.

## Haihtuvien orgaanisten aineiden päästöt

Tieliikenne on täysin hallitsevassa asemassa VOC (Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet) -päästöjen suhteen ja aiheuttaa 80 % tutkimusalueen noin 10 000 tn kokonaispäästöistä (kuva 17). Tieliikenteen osalta Suomen ja Ruotsin välillä on kuitenkin selvä ero. Suomessa tieliikenteen VOC-päästöjen on arvioitu olevan pienempiä kuin Ruotsissa. Työkoneet ja teollisuus ovat seuraavaksi suurimpia päästölähteitä. Teollisuuden päästöt aiheutuvat liuotinaineiden käytöstä, öljytuotteiden varastoinnista ja selluloosateollisuuden toiminnasta.

Energiantuotannon päästöjä on luultavasti aliarvioitu suuresti, koska pienimuotoinen puulämmitys korkeine päästöineen ei ole mukana laskelmassa. Puulämmityksen laajuutta on vaikea kartoittaa, mutta kansallisten arvioiden mukaan (Statistiska Centralbyrån 1994, Ympäristöministeriö 1992) voidaan olettaa, että puulämmityksen VOC-päästöt olisivat yli 90 % energiantuotannon kokonaispäästöistä.

## Metallipäästöt

Metallipäästöt syntyvät pääasiassa kaivostuotannossa, metalliteollisuudessa, valimoissa ja fossiilisten polttoaineiden poltossa. Tutkimusalueella on kaksi suurta metallinjalostuslaitosta, Outokumpu Zinc Oy Kokkolassa ja Rönnskärsverken Skelleftehamnissa. Suomen puolen suuret voimalaitokset sijaitsevat Kristiinankaupungissa (kivihiili, öljy), Vaasassa (kivihiili) ja Kokkolassa (turve, öljy). Metalleja esiintyy myös valimoiden päästöissä. Vaasan läänin rannikolla on kaksi rautavalimoa, kolme kevytmetallivalimoa ja yksi lyijyvalimo.

Suurimmat metallipäästöt Vaasan läänin rannikkoalueella ovat Outokumpu Oy:n Kokkolan tehtaiden sinkkipäästöt, jotka olivat 82 000 kg vuonna 1992. Outokummulta pääsee ilmaan myös pieniä määriä mm. arseenia (1 700 kg) ja kadmiumia (750 kg). Suurimmat päästöt Rönnskärsverkeniltä koostuivat vuonna 1992 lyijystä, sinkistä ja kuparista.

Pohjanmaan suurimpien energiantuotantolaitosten metallipäästöt ovat yleensä vain muutamia kymmeniä kiloja metallia laitosta kohti. Poikkeuksena ovat nikkeli ja vanadiini, joiden päästöt voivat olla useita satoja kiloja laitosta kohden.

## Ammoniakkipäästöt

Ammoniakkipäästöjä syntyy pääasiassa haihtumalla karjanlannasta ja väkilannoitteista. Teollisuuden ammoniakkipäästöt, jotka ovat merkittävästi pienemmät kuin maatalouden, tulevat lannoiteteollisuudesta.

Vuonna 1990 ammoniakkipäästöt olivat Vaasan läänin rannikkoalueella 4 350 tn NH<sub>3</sub> (Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Markku Tähtinen, henkilökohtainen tiedonanto) ja vuonna 1990/91 Västerbottenin läänissä 1 600 tn (Statistiska Centralbyrån 1993). Turkistarhaus on Suomessa merkittävä paikallinen ammoniakkipäästölähde. Vaasan läänin rannikkoalueella turkistarhat aiheuttavat joissakin kunnissa yli puolet ammoniakkipäästöistä, vaikka tarhojen osuus kaikista päästöistä koko maassa on vain vajaa 10 % (Niskanen ym. 1990). Tärkein teollinen päästölähde Vaasan läänin rannikkoalueella on Kemira Oy:n Kokkolan lannoite tehdas, jossa vuosittaisten ammoniakkipäästöjen keskiarvo on vaihdellut 24 tn:sta 91 tn:iin.

## Ilman laatu

Ilman laadun muuttumista ajan mittaan kuvataan mittaussarjoilla Uumajasta sekä tausta-asemilta Ähtäristä Vaasan läänistä ja Vindelnistä Västerbottenin läänistä. Tulkittaessa lyhyiden tarkastelujaksojen kehityssuuntia on oltava varovainen, sillä eri aineiden pitoisuudet ilmassa eivät riipu ainoastaan päästöjen suuruudesta, vaan myös sääoloista. Lämpötila, tuulen voimakkuus ja suunta sekä staabiilien ilmakerrostumien esiintyminen ovat merkittäviä pitoisuuksiin vaikuttavia parametrejä.

## Rikki- ja typpidioksidi

Ilman rikki- ja typpidioksidipitoisuudet ovat Merenkurkun alueella pitkän ajan keskiarvona yleensä hyvin matalia. Rikkidioksidin taustapitoisuus on

## Utsläpp av metaller

Metallutsläppen uppstår huvudsakligen inom gruvindustrin, metallförädlingsindustrin, gjuterier och bränning av fossila bränslen. Inom forskningsområdet finns det två stora metallförädlingsanläggningar, Outokumpu Zinc Oy i Karleby och Rönnskärsverken i Skelleftehamn. De stora kraftverken på finska sidan finns i Kristinestad (stenkol, olja), Vasa (stenkol) och Karleby (torv, olja). Metaller förekommer också i utsläppen från metallgjuterier. Inom Vasa läns kustområde finns två järngjuterier, tre lättmetallgjuterier och ett blygjuteri.

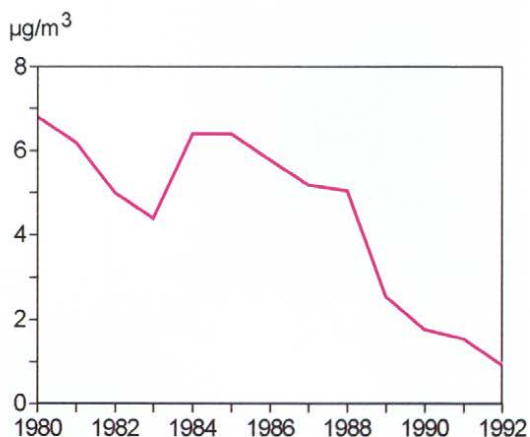
De största metallutsläppen inom Vasa läns kustområde är zinkutsläppen från Outokumpu Oy:s Karlebyfabriker, som år 1992 uppgick till 82 000 kg. Outokumpu har också mindre utsläpp av bl.a. arsin (1700 kg) och kadmium (750 kg). De största utsläppen av metaller från Rönnskärsverken år 1992 var bly, zink och koppar.

Metallutsläppen från de största energiproduktionsanläggningarna i Österbotten är allmänt enbart några tiotal kilogram per metall och anläggning. Undantag är nickel och vanadin, vilkas utsläppsmängd kan vara flera hundra kilogram per anläggning.

## Utsläpp av ammoniak

Den huvudsakliga källan för ammoniakutsläpp är avdunstning från kreatursgödsel och konstgödsel. Industrins ammoniakutsläpp, som är betydligt mindre än ammoniakutsläppen från lantbruket, kommer från konstgödselindustrin.

År 1990 var utsläppen av ammoniak i Vasa läns kustområde 4 350 t  $\text{NH}_3$  (Statens tekniska forskningsanstalt, Markku Tähtinen, personlig inf.), och år 1990/91 i Västerbottens län 1 600 ton (Statistiska Centralbyrån 1993). En betydande lokal ammoniakutsläppskälla utgörs i Finland av pälsdjursfarmningen. Inom Vasa läns kustområde orsakar pälsfarmerna i några kommuner över hälften av ammoniakutsläppen, även om farmernas andel av alla utsläpp i hela landet är bara knappa 10 % (Niskanen m.fl. 1990). Den mest betydande industriella utsläppskällan inom Vasa läns kustområde är Kemira Oy:s konstgödselindustri i Karleby, där medelvärdet av de årliga ammoniakutsläppen varierar från 24 ton till 91 ton.



**Kuva 18.** Ilman rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot Ähtärissä vuosina 1980–92.

**Figur 18.** Årsgenomsnittsvärden för luftens svaveldioxidhalt i Etseri under åren 1980–92.

## Luftkvalitet

En mätserie visande luftkvalitetens förändring över tiden presenteras för Etseri i Vasa län, samt Umeå och Vindeln i Västerbottens län. Det kan bara försiktigt tolkas eventuella trender mellan närliggande år som resultat av förändringar i utsläppsbilden. Detta då luftens halt av olika ämnen inte enbart beror på utsläppens storlek, utan också till stor del på de meteorologiska förutsättningarna. Temperatur, vindstyrka, vindriktning och förekomst av stabila luftskiktningar kan nämnas som viktiga parametrar.

## Svavel- och kvävedioxid

Luftens halt av svavel- och kvävedioxid i Kvarken-regionen är, som långtidsmedelvärde, i allmänhet mycket låg. Bakgrundshalten för svaveldioxid ligger under  $2 \text{ g/m}^3$  och för kvävedioxid något högre. Den längsta mätserien för luftens svaveldioxidhalt i bakgrundsmiljö är från EMEP-stationen i Etseri. I figur 18 kan man tydligt se hur halten har minskat där sedan 1980 (Liisa Leinonen och Sirkka Junto, Meteorologiska institutet i Finland, personlig inf.).

alle  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja typpidioksidin jonkin verran korkeampi. Pitkäaikaisin tausta-alueen ilman rikkidioksidipitoisuuden mittaussarja on peräisin EMEP-asemalta Ähtäristä (kuva 18), jonka mukaan ilman rikkidioksidipitoisuudet ovat alentuneet selvästi vuodesta 1980 (Liisa Leinonen ja Sirkka Junnto, Ilmatieteen laitos, henkilökohtainen tiedonanto).

Rikkidioksidin laskeva trendi voidaan nähdä myös taajamien ilmanlaadussa. Uumajassa ilman rikkidioksidipitoisuus on laskenut voimakkaasti 1970-luvun alun jälkeen (kuva 19). Keskikaupungilla pitoisuustaso on laskenut 1970-luvun  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tasolta alle  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :iin 1990-luvulla. Alentunut taso johtuu suurimmaksi osaksi kaukolämpöverkon laajentamisesta. Typpidioksidipitoisuudet ovat merkittävästi korkeampia, mutta kuitenkin alle Ruotsin  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  raja-arvon.

Vuoden talvipuoliskolla, rikki- ja typpioksidipitoisuudet voivat lyhytaikaisesti kohota voimakkaasti.

## SO<sub>2</sub>- ja NO<sub>2</sub>-mittaukset passiivikeräimillä

Ilman rikki- ja typpidioksidipitoisuuksia mitattiin nk. passiivikeräimillä (Ferm 1991) tausta-alueilla Kälviällä, Raippaluodossa ja Närpiössä sekä myös Vaasan kaupungissa, jossa voitiin verrata passiivikeräimen ja jatkuvatoimisen mittaustaitteiston tuloksia. Mittaukset tehtiin kuukauden jaksoissa 15.7.1993 – 17.1.1995. Vertailuarvoina käytettiin

Ilmatieteen laitoksen Ähtärin mittausaseman tuloksia.

Vaasassa tehtyjen vertailumittausten perusteella passiivikeräimet ovat suhteellisen luotettavia ja käyttökelpoisia tarkasteltaessa keskimääräistä ilmanlaatua. Tarkkojen ja yleistävien vertailujen tekeminen ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä ilman rikkidioksidipitoisuus on Vaasassa tavallisesti lähellä matalimpia arvoja, jotka jatkuvatoiminen analysaattori voi luotettavasti mitata. Toisaalta typpidioksidiarvot ovat kaupungissa merkittävästi korkeammat kuin tausta-alueilla. Tämän vuoksi ei voi tehdä johtopäätöksiä passiivikeräimen toiminnasta alueilla, joilla typpidioksidipitoisuus on matala.

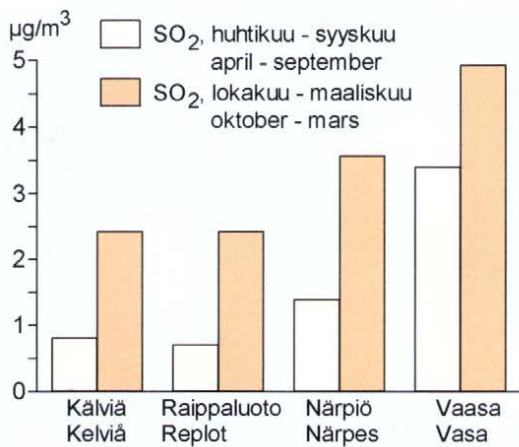
Tuloksista käy ilmi selvä ilman laadun vaihtelu talvi- ja kesäkuukausina, varsinkin rikkidioksidipitoisuuksien osalta (kuva 20). Vuonna 1994 rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo oli Kälviällä ja Raippaluodossa  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Närpiössä  $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sekä Vaasassa  $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ilmatieteen laitoksen mittausasemalla Ähtäristä vastaava arvo oli  $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kaiken kaikkiaan ilman rikkidioksidipitoisuuksien kuukausikeskiarvot olivat sekä tausta-alueilla että Vaasan kaupungissa suhteellisen matalia.

Typpidioksidipitoisuuksien erot taajaman ja tausta-alueiden välillä olivat selvemmät kuin rikkidioksidin (kuva 21), mikä on myös todettu Uumajan keskustan ja tausta-asema Vännäsin mittauksissa (Lundgren 1994). Typpidioksidipäästöissä liikenteen osuus on merkittävä, noin 50 %. Typpi-



**Kuva 19.** Ilman rikkidioksidin talvipuolivuotiskauden keskiarvot Uumajassa 1975/76–1992/93.

**Figur 19.** Vinterhalvårsmedelvärden av svaveldioxid i luft under åren 1975/76–1992/93 i Umeå.



**Kuva 20.** SO<sub>2</sub>-pitoisuuksien keskiarvot kesä- (huhtikuu–syyskuu) ja talvikuukausina (lokakuu–maaliskuu) Kälviällä, Raippaluodossa, Närpiössä ja Vaasassa mittausjaksolla heinäkuu 1993 – tammikuu 1995.

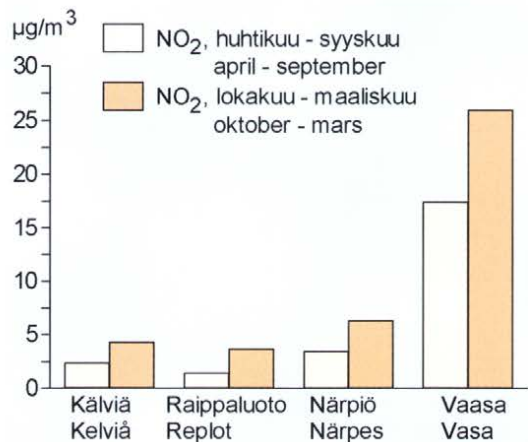
**Figur 20.** SO<sub>2</sub>-halternas medeltal under sommar- (april–september) och vintermånaderna (oktober–mars) i Kelviä, Replot, Närpes och Vasa under mättningsperioden juli 1993 – januari 1995.

Den nedåtgående trenden för svaveldioxid kan även ses i tätorter. I Umeå har halten av svaveldioxid i luften minskat kraftigt sedan början av 1970-talet (figur 19). I centrala staden har den minskat från en nivå på över 50 g/m<sup>3</sup> under 1970-talet till under 5 g/m<sup>3</sup> på 1990-talet. Den sänkta halten beror till största delen på utbyggnaden av fjärrvärmenätet. Halten av kvävedioxid ligger på en betydligt högre nivå, men under det svenska gränsvärdet på 50 g/m<sup>3</sup>.

Under kortare episoder, främst under vinterhalvåret, kan halterna av svavel- och kvävedioxid i tätorterna bli kraftigt förhöjda.

### SO<sub>2</sub>- och NO<sub>2</sub>-mätningar med hjälp av passivinsamlare

Luftens svavel- och kvävedioxidhalter mäts med s.k. passivinsamlare (Ferm 1991) i bakgrundsområden i Kelviä, Replot och Närpes samt också i Vasa stad, där man kunde jämföra resultaten från passivinsamlare och kontinuerlig analysapparat. Mätningarna utfördes under en månads insamlingsperioder under tiden 15.7.1993 – 17.1.1995. Som



**Kuva 21.** NO<sub>2</sub>-pitoisuuksien keskiarvot kesä- (huhtikuu–syyskuu) ja talvikuukausina (lokakuu–maaliskuu) Kälviällä, Raippaluodossa, Närpiössä ja Vaasassa mittausjaksolla heinäkuu 1993 – tammikuu 1995.

**Figur 21.** NO<sub>2</sub>-halternas medeltal under sommar- (april–september) och vintermånaderna (oktober–mars) i Kelviä, Replot, Närpes och Vasa under mättningsperioden juli 1993 – januari 1995.

jämförelsevärden användes resultaten från Meteorologiska institutets mättningsstation i Etseri.

Enligt jämförelsemätningarna som gjorts i Vasa är passivinsamlare relativt pålitliga och användbara för mätning av luftkvaliteten i medeltal. Att gå in i noggrann och generaliserande jämförelse är ändå inte möjligt, eftersom luftens svaveldioxidhalt i Vasa vanligtvis är nära de lägsta halter som är mätbara med kontinuerligt fungerande analysator. Å andra sidan är kvävedioxidhalterna i staden betydligt högre än i bakgrundsområdena, varför man inte kan dra slutsatser om hur passivinsamlare fungerar i områden med låga kvävedioxidhalter.

Av resultaten framgår en klar variation i luftkvaliteten mellan vinter- och sommarperioder, i synnerhet när det gäller svaveldioxidhalterna (figur 20). År 1994 var årsmedeltalet av svaveldioxidhalten i Kelviä och Replot 1,6 g/m<sup>3</sup>, i Närpes 2,6 g/m<sup>3</sup> samt i Vasa 4,5 g/m<sup>3</sup>. På meteorologiska institutets mättningsstation i Etseri var motsvarande värde 1,0 g/m<sup>3</sup>. Som helhet var månadsmedeltalen av luftens svaveldioxidhalter såväl i bakgrundsområdena som i Vasa stad relativt låga.

Skillnaderna i kvävedioxidhalterna mellan tätort och bakgrundsområden är klarare än i fråga om

dioksidipäästöt eivät ole myöskään vähentyneet yhtä nopeasti kuin rikkipäästöt. Vuonna 1994 NO<sub>2</sub>-pitoisuuden keskiarvo oli Kälviällä 3,4 µg/m<sup>3</sup>, Raippaluodossa 2,4 µg/m<sup>3</sup> ja Närpiössä 5,1 µg/m<sup>3</sup>, kun Vaasan vuosikeskiarvo oli 25,7 µg/m<sup>3</sup>. Ähtärin vuosikeskiarvo oli 3,9 µg/m<sup>3</sup>.

## Maanpinnanläheinen otsoni

Maanpinnanläheisen otsonin pitoisuutta on mitattu Vindelnissä Västerbottenin läänissä ja Ähtärissä Vaasan läänissä vuoden 1992 ajan (Kindbom ym. 1993; Liisa Leinonen ja Sirkka Junto, Ilmatieteen laitos, henkilökohtainen tiedonanto). Kuvassa 22 esitetään otsonipitoisuuden kuukausikeskiarvot ja korkeimmat vuorokausikeskiarvot vuoden ajalta. Otsonipitoisuus oli korkein keväällä ja kesällä lämpimän aurinkoisen sään seurauksena. Ähtärissä otsonipitoisuudet ovat jatkuvasti noin 15 µg/m<sup>3</sup> korkeampia kuin Vindelnissä, mutta muuten on nähtävissä hyvin samanlainen vaihtelu ajan suhteen. Vuosikeskiarvo oli Vindelnissä 58 µg/m<sup>3</sup> ja Ähtärissä 65 µg/m<sup>3</sup>. Pohjoismaat ovat yhdessä määritelleet viljoille kriittiset pitoisuudet. Kasvukaudella 1.4.–30.9. otsonipitoisuus ei saa päivä-aikaan ylittää 50 µg/m<sup>3</sup>. Vastaavasti yhden tunnin otsonikeskiarvo ei saa ylittää 150 µg/m<sup>3</sup>. Vindelnissä seitsemän tunnin keskiarvo oli 69 µg/m<sup>3</sup>, mikä tarkoittaa, että kriittinen pitoisuustaso (50 µg/m<sup>3</sup>) ylittyi. Kriittinen tuntikeskiarvo (150 µg/m<sup>3</sup>) ei ylittynyt Vindelnissä.

## Laskeuma

Ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat maahan ja kasvilisukseen joko sadeveden tai lumen mukana märkälasseumana tai ilmavirtojen tai sumupisaroiden mukana kuivalasseumana. Puusto, etenkin metsän reunassa ja rinteissä, kerää kuivalasseumaa avoimia paikkoja enemmän (Grennfelt ja Hultberg 1986). Maaperän happamoitumisen kannalta merkittävimpiä ovat typpi- ja rikkidioksidipäästöt, koska ne muuttuvat ilmassa rikki- ja typpihapoksi. Kun arvioidaan laskeuman vaikutuksia, pitää kuitenkin ottaa huomioon myös happamuutta neutraaloiva laskeuma, joka koostuu lähinnä kalsium-, kalium- ja ammoniumtyppilasseumasta.

Märkälasseuma lasketaan mittaamalla sadan-



*Passiivikeräimet sopivat hyvin ilman laadun tarkkailuun varsinkin tausta-alueilla, koska ne ovat pieniä ja halpoja eivätkä vaadi sähköä toimiakseen. Kuvassa avattu, ilman otsonipitoisuuksien seurantaan tarkoitettu passiivikeräin. Otsonipitoisuuksien määrittäminen perustuu sinisen indigovärin muutokseen. Passiivikeräimillä ei saada selville lyhytaikaisia, korkeita pitoisuuksia, vaan tulos kuvaa mittausjakson keskimääräisen tilanteen. Kuva: Sven-Erik Larsson.*

*Passiva depositionsmätare passar speciellt bra för kartläggning av luftkvaliteten inom bakgrundsområdet eftersom de är små och billiga och inte kräver el för att fungera. Bilden visar en öppnad passivmätare som är avsedd för att kartlägga förekomsten av ozon. Ozonhalten bestäms med hjälp av förändringarna i den blåa indigofärgen. Med passiva mätare får man inte reda på kortvariga, höga koncentrationer utan resultatet beskriver den genomsnittliga situationen under mätperioden. Foto: Sven-Erik Larsson.*

nan määrä ja ainepitoisuudet avoimella paikalla. Metsämaahan tulevan sadannan määrä ja koostumus poikkeavat huomattavasti avoimen paikan sadannasta (= vapaa sadanta), sillä osa sadannasta pidättyy latvustoon, osa sataa maahan latvusaikoista ja latvuston läpi (= metsikkösadanta) ja osa valuu runkoa pitkin. Metsikkösadannan ainekoostumus on peräisin paitsi märkälasseumasta, myös latvusten keräämästä kuivalasseumasta sekä lehvästästä huuhtoutuneista aineista (Hyvärinen 1990). Metsikkösadannan koostumukseen vaikuttaa myös se, että neulasen ja puiden pinnoilla

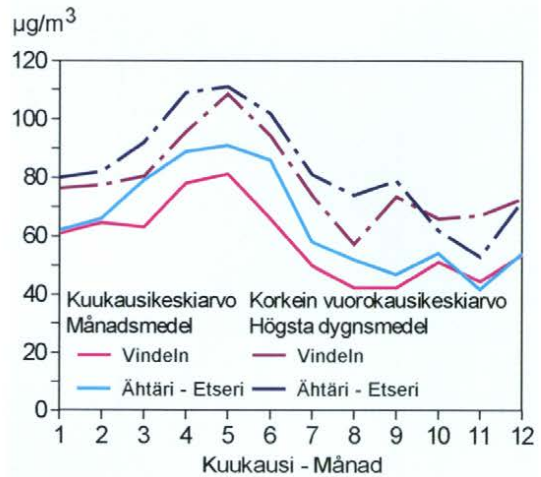
svavel (figur 21), vilket också har konstaterats i mätningarna i centrala Umeå och bakgrundsstationen i Vännäs (Lundgren 1994). Av kvävedioxidutsläppen är trafikens andel betydande, ca 50 %, och kvävedioxidutsläppen har inte minskat lika snabbt som svavelutsläppen. År 1994 var NO<sub>2</sub>-haltens medeltal i Kelviå 3,4 g/m<sup>3</sup>, på Replot 2,4 g/m<sup>3</sup> och i Närpes 5,1 g/m<sup>3</sup>, medan årsmedeltalet i Vasa var 25,7 g/m<sup>3</sup>. I Etseri var årsmedeltalet 3,9 g/m<sup>3</sup>.

## Marknära ozon

Halten av marknära ozon har kontinuerligt mätts i Vindeln i Västerbottens län och Etseri i Vasa län under hela 1992 (Kindbom m.fl. 1993, Liisa Leinonen och Sirkka Junto, Meteorologiska institutet i Finland, personlig inf.). Mätningarna har haft en hög upplösning för registrering av timmedelvärden. I figur 22 kan man se hur månadsmedelvärdet och det högsta dygnsmedelvärdet har varierat under året. Halten av ozon var högst under våren och sommaren till följd av varmt och soligt väder. I Etseri är ozonhalterna genomgående ca 15 g/m<sup>3</sup> högre än i Vindeln, men i övrigt kan man se en god samvariation över tiden. Årsmedelvärdet uppgick till 58 g/m<sup>3</sup> i Vindeln och 65 g/m<sup>3</sup> i Etseri. De nordiska länderna har gemensamt bestämt kritiska haltnivåer med hänsyn till grödor, där man anger att ozonhalten under dagtid inte bör överstiga 50 g/m<sup>3</sup> under vegetationssäsongen, 1/4–30/9. På motsvarande sätt bör ozonhaltens medelvärde under 1 timme inte överstiga 150 g/m<sup>3</sup>. I Vindeln var 7-timmedelvärdet 69 g/m<sup>3</sup>, vilket innebär att den kritiska haltnivån på 50 g/m<sup>3</sup> överskreds. Den kritiska haltnivån på 150 g/m<sup>3</sup> för 1-timmesmedelvärdet överskreds aldrig i Vindeln.

## Nedfall

Luftens föroreningar hamnar i marken och växtligheten antingen med regnvattnet eller snön som våtdeposition eller som torrdeposition genom luftströmmar eller som dimdroppar. Trädbestånd i synnerhet vid skogskanter och på sluttningar samlar nedfallet effektivare än öppna fält (Grennfelt och Hultberg 1986). Med tanke på jordmånens försurningsutveckling är de mest betydande utsläppen



**Kuva 22.** Ilman otsonipitoisuuksien vuosittainen vaihtelu Ähtäriin ja Vindelnin tausta-asezilla vuonna 1992.

**Figur 22.** Årsvariation av ozonhalter i luft vid bakgrundsstationerna i Etseri och i Vindeln år 1992.

kväve- och svaveloxidutsläpp, eftersom de i luften förvandlas till svavel- och salpetersyror. När man värderar verkningarna av nedfallet skall man också beakta det nedfall som neutraliserar syran och som närmast består av kalcium-, kalium- och ammoniumnedfall.

Våtdepositionen beräknas genom att mäta nederbörds mängden och ämneshalterna på ett öppet fält. Nederbörds mängden och dess sammansättning i skogsmarker skiljer sig betydligt från nederbörden på öppna fält (= fri nederbörd), eftersom en del av nederbörden stannar i trädkronorna, en del faller ned till marken från öppna ställen mellan trädkronorna, en del faller ned genom trädkronorna (= krondropp) och en del som stamavrinning. Krondroppets ämnessammansättning består förutom av våtdeposition också av torrdeposition, som samlas i trädkronorna samt ämnen som sköljs ned från bladen (Hyvärinen 1990). Krondroppets innehåll påverkas dessutom av att barr samt lavar och alger som lever på trädstammar tar åt sig näringsämnen, speciellt kväve direkt från regnvattnet. Trädarterna och tätheten hos trädbeståndet påverkar också krondroppet.

Kvaliteten av nederbörden i skogsbestånd och på öppet fält har mätts på tre platser längs Vasa läns kust (Kelviå, Replot och Närpes) samt på åtta

elävät jäkälät ja levät ottavat ravinteita, erityisesti tyypeä, suoraan sadevedestä. Myös puulaji ja puuston tiheys vaikuttavat metsikkösadantaan.

Metsikön ja avoimen paikan sadannan laatua mitattiin kolmella paikalla Vaasan läänin rannikolla (Kälviä, Raippaluoto ja Närpiö) sekä kahdeksalla paikalla Västerbottenin ja Västernorrlandin lääneissä (Hallgren-Larsson ym. 1995) (kuva 23). Kaikki havaintoalat olivat kuusikoita. Lisäksi esitetään tuloksia kuudesta Suomen ympäristökeskuksen (ent. Vesi- ja ympäristöhallitus) avoimen paikan laskeumaseurantapisteestä (Järvinen ja Vänni 1994). Esitettävät vuosilaskeumat ovat jaksolta lokakuu 1993 – syyskuu 1994.

### Laskeuman kehitys Ylimarkussa ja Sulvassa 1980–93

Tarkasteltaessa Ylimarkun ja Sulvan laskeumakehitystä 14 vuoden ajalta voidaan suurista vuosittaisista vaihteluista huolimatta havaita rikin märkälaskeuman vähentyneen 1990-luvulle tultaessa (kuva 24) (Järvinen ja Vänni 1994). Tämä johtuu päästöjen vähentymisestä sekä Suomessa että muualla Euroopassa. 1990-luvun alussa (1990–93) keski-

määräinen rikkilaskeuma oli Ylimarkussa 6,9 kg/ha ja Sulvassa kolmanneksen pienempi, 4,6 kg/ha. Ylimarkun suurempi laskeuma aiheutuu paitsi korkeammasta sademäärästä myös suuremmasta paikalliskuormituksesta (kasvihuoneviljely, turkistarhaus) ja eteläisemmästä sijainnista. Tällöin myös etelästä tuleva kaukokulkeuma kuormittaa aluetta. Vuosien välinen vaihtelu aiheutuu paitsi sademäärästä, myös esim. talven lämpöoloista, jotka heijastuvat lämmitystarpeen kautta rikkipäästöihin ja laskeumaan.

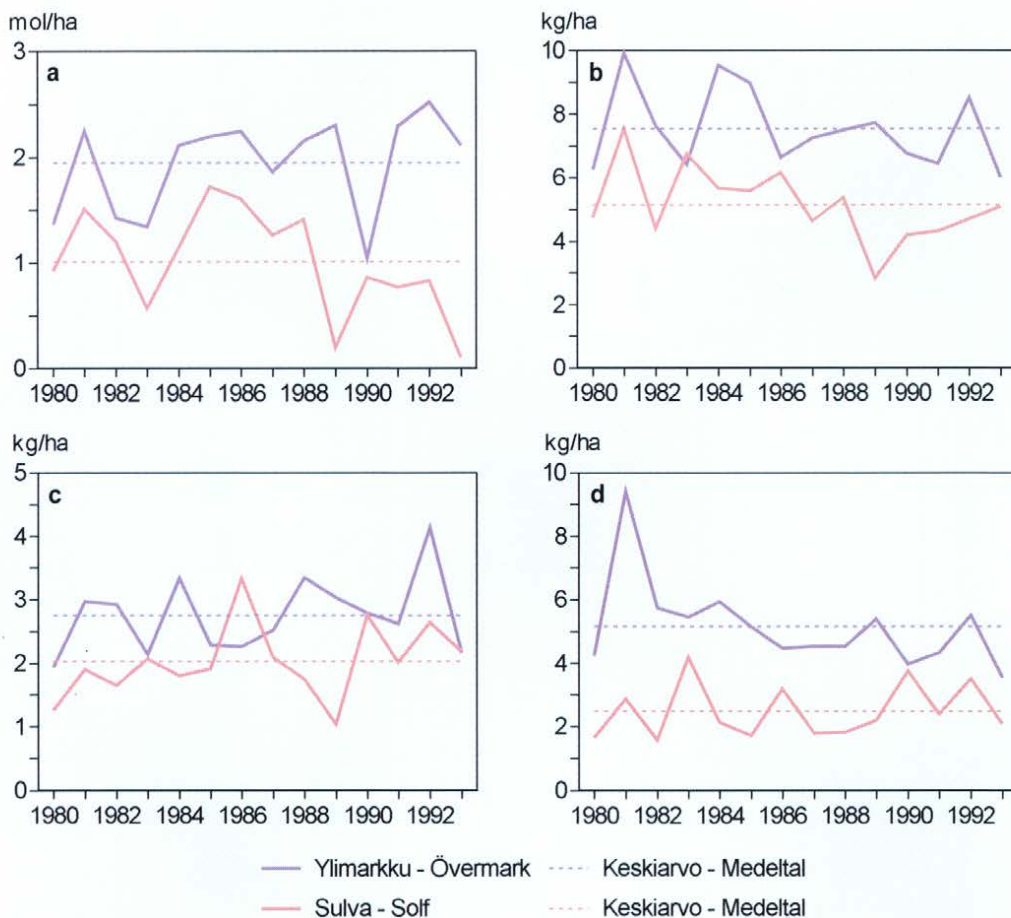
Nitraattilaskeumassa havaittava nouseva trendi on yhtäpitävä päästökemityksen kanssa, sillä liikenteen typpidioksidipäästöjen on todettu kasvaneen 1980-luvulla. Nitraattityppilaskeuma oli 1990-luvun alussa (1990–93) Ylimarkussa 2,9 kg/ha ja Sulvassa 2,4 kg/ha. Vahvojen happojen laskeuma, joka riippuu voimakkaasti rikki- ja typpilaskeumasta, näyttää pienenevän Sulvassa, mutta ei Ylimarkussa. Lähinnä eläinten lannasta peräisin oleva ammoniumtyppilaskeuma näyttää sitä vastoin hie-man pienentyneen Ylimarkussa, mikä lienee seurausta turkistarhauksen vähenemisestä alueella.

Ammoniumtyppilaskeumassa paikallisilla päästöillä on suurempi merkitys kuin sulfaatti- ja nitraattilaskeuman kohdalla. Ammoniumtyppi-



**Kuva 23.** Laskeuman mittausspaikat. Suomen ympäristökeskuksen laskeumamittausspaikat on merkitty kolmioilla.

**Figur 23.** Mättningsplatser för nedfall. Finlands miljöcentrals platser för uppföljning av nedfall har märkts med trianglar.



**Kuva 24a–d.** Vahvojen happojen (mol/ha) (a), sulfaattirikin (kg/ha) (b), nitraattitypen (kg/ha) (c) sekä ammoniumtypen (kg/ha) (d) vuosittainen laskeuma Ylimarkussa ja Sulvassa vuosina 1980–93.

**Figur 24a–d.** Starka syror (mol/ha) (a), sulfatsvavlets (kg/ha) (b), nitratkvävets (kg/ha) (c) samt ammoniumkvävets (kg/ha) (d) årliga nedfall i Övermark och Solf under åren 1980–93.

platser i Sverige i Västerbottens och Västernorrlands län (Hallgren-Larsson m.fl. 1995) (figur 23). Alla provtytor är förlagda till granbestånd. Dessutom presenteras resultat från Finlands miljöcentrals (tidigare Vatten- och miljöstyrelsen) kontrollplatser för nedfallsutvecklingen på öppna fält i Österbotten (Järvinen och Vänni 1994). De presenterade årliga nedfallen är från perioden oktober 1993 – september 1994.

### Utvecklingen av nedfallet i Övermark och Solf 1980–93

Vid granskning av utvecklingen av nedfallet i Över-

mark och Solf under fjorton års tid (figur 24) (Järvinen och Vänni 1994) kan man trots stora variationer mellan åren observera att våtdepositionen av svavel minskat när man kommit in på 1990-talet, vilket är en följd av åtgärder för att minska utsläppen såväl i Finland som i övriga Europa. I början av 1990-talet (1990–93) var det genomsnittliga svavelnedfallet i Övermark 6,9 kg/ha och i Solf en tredjedel lägre, 4,6 kg/ha. Den större mängden nedfall i Övermark är en följd förutom av högre regnmängd även av större lokal belastning (växthusodling, pälsdjursnäring) och sydligare läge, eftersom området då även belastas av fjärrtransportnedfall söderifrån. Variationen mellan åren orsakas förutom av mängden regn även

laskeuma ei leviä niin laajoille alueille kuin rikki- ja typpidioksidit ja näistä muodostuneet sulfaatit ja nitraatit (Niskanen ym. 1990).

### Metsikön ja avoimen paikan laskeuma

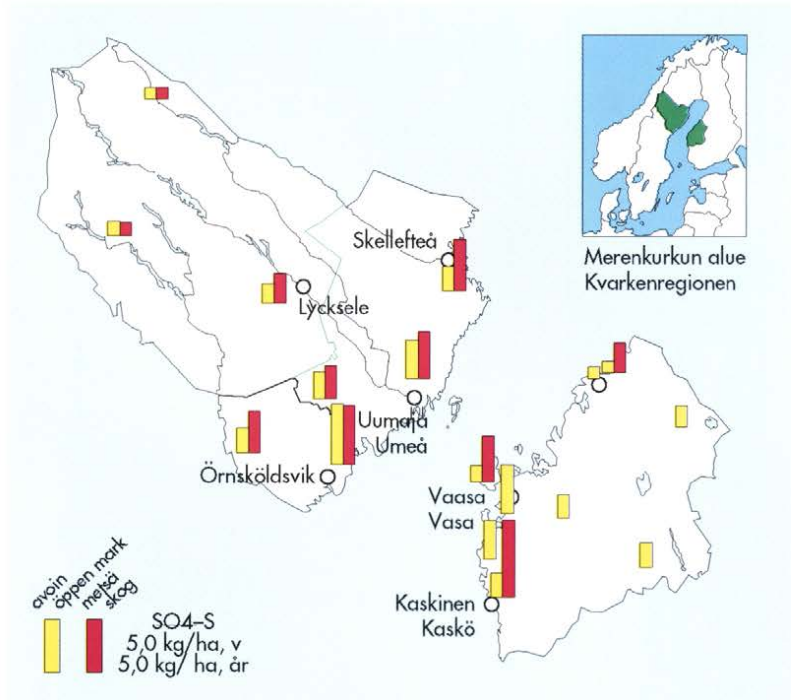
Vuosi 1994 oli poikkeuksellisen vähäsateinen, esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen Riimalan mittausasemalla Mustasaassa mitattu sademäärä oli viidenneksen pienempi kuin pitkän ajan keskiarvo. Vähäsateisuuden vuoksi myös esitettävät vuosilaskeumat (jakso lokakuu 1993 – syyskuu 1994) ovat keskimääräistä alhaisempia. Suomen puolella laskeumat ovat yleensä pienempiä kuin Ruotsissa. Tämä johtuu lähinnä pienemmästä sademäärästä, koska Vaasan ja Västerbottenin rannikkoalueiden sadeveden sulfaatti-, nitraatti- ja ammoniumpitoisuudessa ei ole suurta eroa. Sademäärien pitkäaikaiskeskiarvojen mukaan Vaasassa sataa vain 75 % Uumajan sademäärästä, ja vuonna 1994 ero näyttää olleen jonkin verran suurempi.

Rikki- ja typpilaskeumassa on Västerbottenin läänissä itä-länsi-suuntainen laskeva gradientti, jossa suurin laskeuma tulee rannikolle ja pienin tunturialueelle (kuvat 25, 26 ja 27). Vaasan läänissä

gradientti on pikemminkin etelä-pohjois- kuin itä-länsi-suuntainen. Norrlandin rannikon lähellä sijaitsevien mittausasemien laskeuma oli lähes yhtä suuri kuin Kaakkois-Ruotsin metsäalojen (kuva 25). Tämä osoittaa, että Ruotsin itärannikkoa kulkeva gradientti on suhteellisen loiva.

### Vapaan sadannan ja metsikkösadannan vertailu

Metsikön ja avoimen paikan rikkilaskeuman erotusta voidaan karkeasti arvioiden pitää latvuston keräämän kuivalaskeuman osuutena (Lindberg ja Garten 1988). Lähistön päästölähteistä peräisin oleva kuivalaskeuma laskeutuu puiden latvuksiin ja huuhtoutuu maahan sadeveden mukana. Ruotsin tunturialueella, Ammarnäsissä ja Njakafjällillä, rikkilaskeuma metsikössä on samansuuruinen tai jopa pienempi kuin avoimella paikalla. Tämä osoittaa, että kuivalaskeuma on hyvin pieni (kuva 25). Sitä vastoin alueilla, joilla on paikallisia päästölähteitä, rikkilaskeuma metsikössä on suurempi kuin avoimella paikalla. Suomessa metsikön laskeuma on 2,5–3,1-kertainen avoimeen paikkaan verrattuna, ja Ruotsissa 0,9–2,1-kertainen. Suomen



**Kuva 25.** Sulfaattirikin laskeuma avoimella paikalla ja metsikössä (vuosijakso lokakuu 1993 – syyskuu 1994). Kälviällä, Raippaluodossa ja Närpiössä rikkilaskeuma on mitattu kokonaisrikkinä. **Figur 25.** Nedfall av sulfatsvavel på öppet fält och i skogsbestånd (årsperiod oktober 1993 – september 1994). I Kälviå, Replot och Närpes har svavelnedfallet uppmätts som totalsvavel.

av t.ex. skillnader i vinterns temperaturförhållanden som via behovet av uppvärmning återverkar på svavelutsläppen och nedfallet.

Den stigande trenden i nitratdepositionen som kan skönjas är i överensstämmelse med utvecklingen av utsläppen, eftersom kvävedioxidutsläppen från trafiken har konstaterats öka under 1980-talet. Nitratkvävednedfallet var i början av 1990-talet (1990–93) 2,9 kg/ha i Övermark och 2,4 kg/ha i Solf. Nedfallet av starka syror som är starkt beroende av svavel- och kvävednedfallet ser ut att minska i Solf men inte i Övermark. Ammoniumkvävednedfallet som närmast har sitt ursprung i husdjurshållningen visar däremot en lätt minskande trend i Övermark, vilket torde vara en följd av minskningen av pälsdjursnäringen i området.

I fråga om ammoniumkvävednedfallet har de lokala utsläppen större betydelse än i fråga om sulfat- och nitratnedfallen. Ammoniumkväveutsläppen sprids inte över så stora områden som svavel- och kväveoxiderna samt sulfatet och nitraterna bildade av dessa (Niskanen m.fl. 1990).

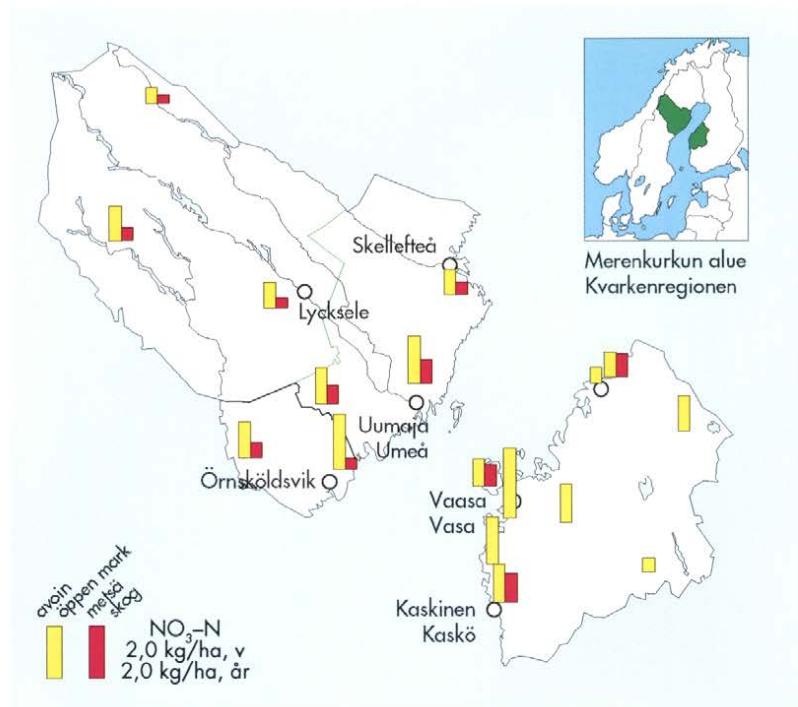
## Nedfall i skogsbestånd och på öppet fält

År 1994 var exceptionellt regnfattigt. Så var t.ex. den av Meteorologiska institutets mätstation Rimal i Korsholm uppmätta regnmängden en femtedel lägre än långtidsmedeltalet. P.g.a. bristen på regn är även de presenterade årliga nedfallen (perioden oktober 1993 – september 1994) lägre än medeltalet. På finska sidan är nedfallet i allmänhet lägre än i Sverige. Detta beror främst på en mindre regnmängd, eftersom skillnaden är liten mellan kustområdena i Vasa och Västerbotten beträffande regnvattnets sulfat-, nitrat-, och ammoniumhalt. Enligt långvariga medeltal för regnmängder regnar det i Vasa endast 75 % av regnmängden i Umeå, och år 1994 ser skillnaden ut att ha varit något större.

Inom Västerbottens län uppvisar nedfallen av svavel och kväve en öst-västlig gradient med högst nedfall vid kusten och minst i fjällen (figurerna 25, 26 och 27). Inom Vasa län ser gradienten ut att vara mer syd-nordlig än öst-västlig. De kustnära mätstationsstationerna i Norrland hade ett nedfall som var nästan lika stort som på skogsytorna i sydöstra Sverige (figur 25), vilket visar att gradienten längs Sveriges ostkust var relativt svag.

**Kuva 26.** Nitraattitypen laskeuma avoimella paikalla ja metsikössä (vuosijaksoksi lokakuu 1993 – syyskuu 1994).

**Figur 26.** Nedfall av nitratkväve på öppet fält och i skogsbestånd (årsperiod oktober 1993 – september 1994).



puolen suuremmat rikkipäästöt (vrt. kappale Rikki-dioxidipäästöt) näkyvät suurempana rikin kuivalaskeuman osuutena metsikön rikkilaskeumassa. Suurin ero metsikön ja avoimen paikan rikkilaskeumassa havaittiin Suomen puolella Närpiössä ja Ruotsissa Holmsvattenilla lähellä Rönnskärsverkenin tehtaita.

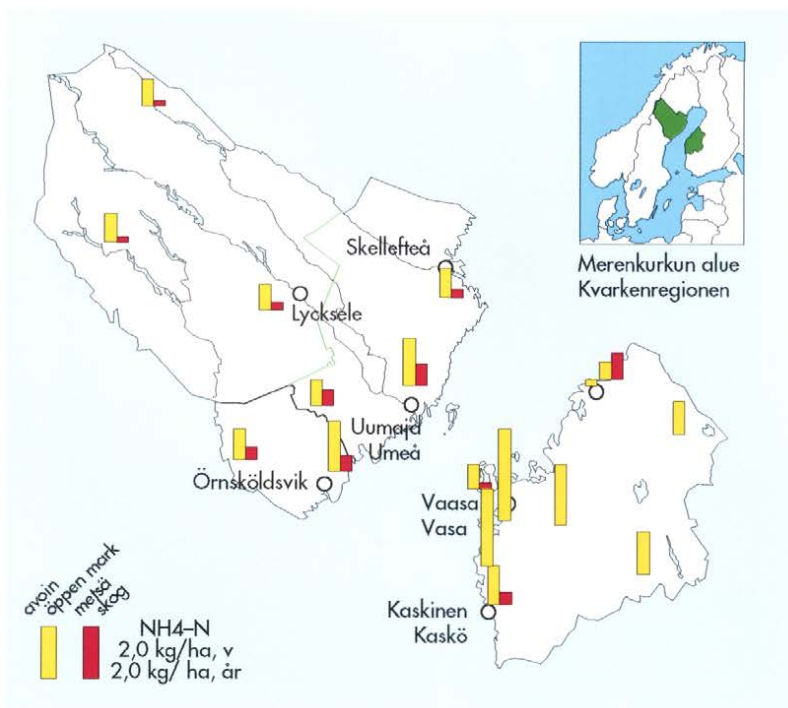
Typpilaskeuma on tavallisesti pienempi metsikössä kuin avoimella paikalla, koska puut ja niiden pinnalla elävät jäkälät ja levät ottavat typpeä suoraan sadevedestä. Ruotsin puolella avoimien paikkojen vuotuinen nitraattilaskeuma on 1,9–4,9-kertainen verrattuna metsikön laskeumaan, mutta Suomen puolella vain 1,1–1,3-kertainen (kuva 26). Jos latvuksen typenottokyvyn oletetaan olevan suurin piirtein yhtä suuri kaikissa metsiköissä, voidaan tästä tuloksesta päätellä, että myös nitraattitypen kuivalaskeuma on suurempi Vaasan läänin rannikkoalueella kuin Västerbottenin läänissä. Ammoniumtppi pidättyy puiden latvuksiin yleensä tehokkaammin kuin nitraattityppi. Tämä näkyy myös tässä aineistossa, poikkeuksena kuitenkin Kälviä (kuva 27).

Vetyionilaskeuma vaihtelee alueellisesti samansuuntaisesti rikki- ja nitraattityppilaskeuman kanssa (kuva 28). Ruotsin puolella metsikössä mitattu

vetyionilaskeuma on tavallisesti joko yhtä suuri tai pienempi kuin avoimella paikalla ja Holmsvattenilläkin vain 1,1-kertainen avoimeen paikkaan verrattuna. Raippaluodossa ja Närpiössä vetyionilaskeuma on metsikössä 1,6-kertainen, mikä osoittaa, että kuivalaskeuma on näillä paikkakunnilla suurempi kuin Ruotsissa. Latvuksessa tapahtuvien kationinvaihtoprosessien tuloksena osa sadeveden vetyioneista pidättyy latvukseen ja siitä huuhtoutuu muita varaukseltaan positiivisia kationeja, etenkin kaliumia (kuva 29).

### Laskeuma Kälviällä, Raippaluodossa ja Närpiössä

Vuositasolla vapaan sadannan koostumus on Närpiössä ja Raippaluodossa hyvin samankaltainen. Närpiön suurempi laskeuma aiheutuu pääasiassa suuremmasta sademäärästä (kuva 29). Kälviällä sulfaatin osuus oli vapaassa sadannassa hieman pienempi kuin eteläisemmillä havaintoaloilla. Paikkakuntien väliset erot tulevat paremmin näkyviin, kun tarkastellaan metsikön laskeumaa. Paikalliset rikkipäästöt kohottavat metsikön rikkilaskeumaa Närpiössä. Kälviällä lannasta peräisin oleva ammonium-



**Kuva 27.** Ammonium-typen laskeuma avoimella paikalla ja metsikössä (vuosijakso lokakuu 1993 – syyskuu 1994).

**Figur 27.** Nedfall av ammoniumkväve på öppet fält och i skogsbestånd (årsperiod oktober 1993 – september 1994).

## Jämförelse av nederbörd på öppet fält och i skogsbestånd

Skillnaden mellan svavelnedfallen i skogsbestånd och på öppet fält kan man grovt uppskatta som den torrdeposition som trädkronorna har samlat (Lindberg och Garten 1988). Torrdepositionen, som kommer från utsläppskällor i närheten, faller ner i trädkronor och sköljs till marken med regnvattnet. I det svenska fjällområdet, Ammarnäs och Njaka-fjäll, är svavelnedfallet i skogsområden av samma storlek eller t.o.m. mindre än på öppna platser, vilket visar att torrnedfallet är mycket lågt (figur 25). I områden med lokala utsläppskällor är däremot svavelnedfallet i skogsbestånd större än nedfallet på öppet fält. På de finska provytorna är nedfallet i skogsbestånd 2,5–3,1-faldigt jämfört med nedfallet på öppet fält, och i Sverige 0,9–2,1-faldigt. De större svavelutsläppen på finska sidan (jfr. stycket Utsläpp av svaveldioxid) syns i den större andelen av torrnedfall i skogens svavelnedfall. Den största skillnaden i svavelnedfall mellan skogsbestånd och öppet fält påträffas i Finland i Närpes och i Sverige i Holmsvatten nära Rönnskärsverken.

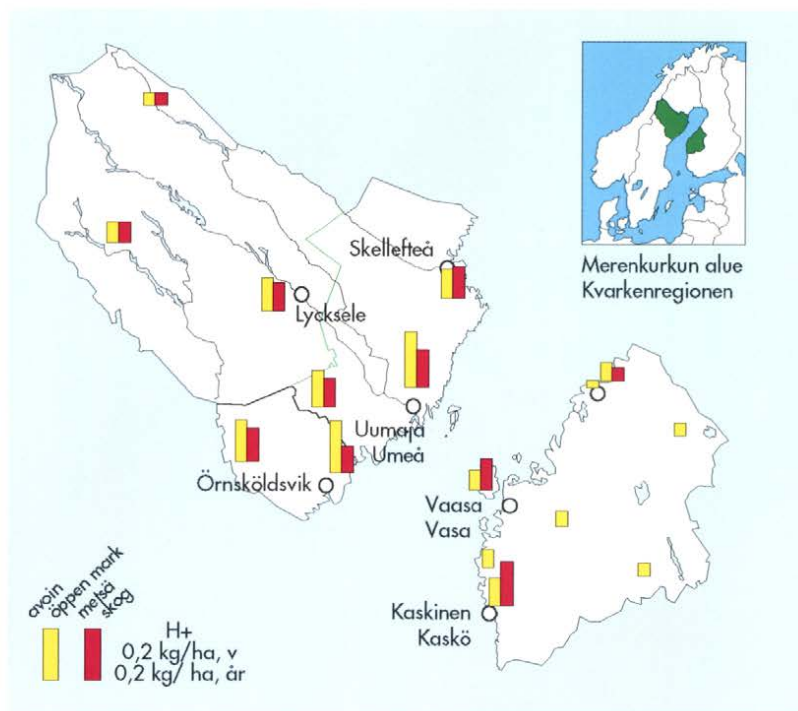
Kvävenedfallet är vanligtvis mindre i skogsbe-

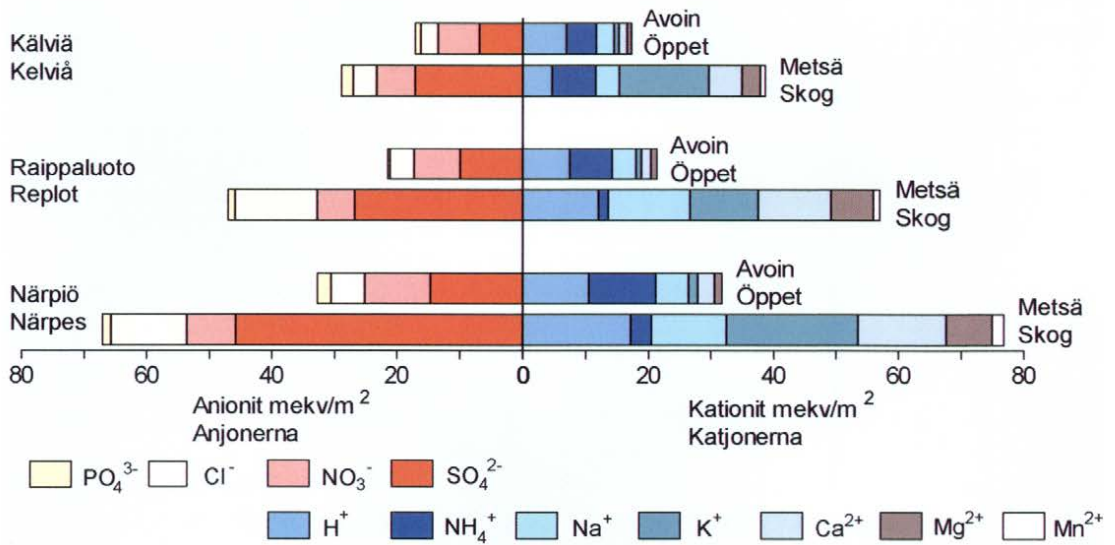
stånd än på öppna platser, eftersom träden och de lavar och alger som lever på trädens yta tar kväve direkt ur regnvatten. På svenska sidan är det årliga nitratnedfallet på öppna platser 1,9–4,9-faldigt jämfört med nedfallet i skogsbestånd. På finska sidan är nedfallet endast 1,1–1,3-faldigt (figur 26). Om man förmodar att trädkronans förmåga att ta upp kväve ur regnvatten är nästan lika stor på alla provytor, kan man av detta resultat dra slutsatsen att även nitratkvävetts torrdeposition är större vid Vasa läns kustområde än i Västerbottens län. Ammoniumkväve absorberas ofta effektivare i trädkronan än nitratkväve, vilket syns även i detta material med undantag av Kelviå (figur 27).

Vätejonnedfallet varierar regionalt parallellt med svavel- och nitratkvävenedfallet (figur 28). På svenska sidan är vätejonnedfallet som uppmäts i skogsbestånd vanligtvis antingen lika stort eller mindre än på öppet fält, och i Holmsvatten t.o.m. bara 1,1-faldigt jämfört med öppet fält. I Replot och Närpes är vätejonnedfallet i skogsbestånd 1,6-faldigt, vilket visar att vätejonernas torra nedfall på dessa platser är större än i Sverige. Som en följd

**Kuva 28.** Vetyionien laskeuma avoimella paikalla ja metsikössä (vuosijakso lokakuu 1993 – syyskuu 1994).

**Figur 28.** Nedfall av vätejoner på öppet fält och i skogsbestånd (årsperiod oktober 1993 – september 1994).





**Kuva 29.** Tärkeimpien kationien ja anionien laskeuma (mekv/m<sup>2</sup>, v) avoimella paikalla ja metsikössä Kälviällä, Raippaluodossa ja Närpiössä. Sulfaatti on mitattu kokonaisrikinä ja fosfaatti kokonaisfosforina. Kloridilaskeuma on laskettu natriumlasseuman perusteella. Vuosijakso lokakuu 1993 – syyskuu 1994. **Figur 29.** Nedfall av de viktigaste katjonerna och anjonerna (mekv/m<sup>2</sup>, år) på öppet fält och i skogsbestånd i Kälviä, Replot och Närpes. Sulfatet har uppmätts som totalsvavel och fosfatet som totalfosfor. Kloridnedfallet har beräknats på basen av natriumnedfallet. Årsperiod oktober 1993 – september 1994.

typen kuivalaskeuma huuhtoutuu sadeveden mukana puiden latvuksista maahan, jolloin metsikön ammoniumtyypilaskeuma on suurempi kuin avoimen paikan. Sitä vastoin Raippaluodossa ammoniumtyppi pidättyy latvuksiin erittäin tehokkaasti, mikä viittaa typen puutokseen. Raippaluotoa luonnehtii myös mereisyys, mikä näkyy merisuolojen, kuten natriumin suurempana osuutena metsikkö-sadannassa.

Laskeumassa on havaittavissa myös selvää vuodenaikaisvaihtelua. Närpiössä ja Raippaluodossa avoimen paikan rikki- ja nitraattityypilaskeuma oli suurimmillaan joului- ja tammikuussa. Talvella laskeuma oli myös happaminta. Sitä vastoin ammo-

niumentyyppilaskeuma oli suurin kesäkuukausina. Metsässä vuodenaikaisvaihtelu on hieman poikkeava, koska lumi huuhtelee huonosti latvusten keräämää kuivalaskeumaa. Keväällä, kun sadevesi huuhtelee talven aikana kerääntyneen kuivalaskeuman maahan, metsämaalle tulee enemmän nitraattityppeä, vaikka vuositasolla avoimella paikalla ja metsässä mitatun nitraattityypilaskeuman suhde on päinvastainen. Runsaiden sateiden mukana rikin kuivalaskeumaa huuhtoutuu latvuksista eniten, ja kuten nitraattityppeäkin, erityisesti keväällä. Kälviällä ammoniumtyypilaskeuma on ympäri vuoden suurempi metsikössä kuin avoimella paikalla.

av katjonutbytesprocesserna i trädkronan, absorberar trädkronan en del av vätejonerna i regnvattnet och från trädkronan sköljs andra positiva katjoner bort, i synnerhet kalium (figur 29).

### **Nedfallet i Kelviå, Replot och Närpes**

På årsbasis liknar sammansättningarna av den fria nederbörden varandra mycket i Närpes och Replot. Det större nedfallet i Närpes orsakas främst av större nederbörd (figur 29). I Kelviå är sulfatets andel i den fria nederbörden något mindre än i de södra provtagningsområdena. Skillnaderna mellan orterna framstår bättre när man undersöker nedfallet i skogsbestånd. De lokala svavelutsläppen höjer svavelnedfallet i skogsbestånd i Närpes. I Kelviå sköljs det torra nedfallet av ammonium, som härstammar från gödsel, bort från trädkronorna med regnvatten ner till jorden och ammoniumnedfallet i skogsbestånd är större än på öppet fält. Däremot absorberar trädkronorna på Replot ammonium mycket effektivt, vilket tyder på att

träden lider brist på kväve. Replot kännetecknas av havsförhållanden och det syns genom att havssalter, som natrium, har större andel i nederbörden i skogsbestånd.

Årstidsväxlingarna märks även tydligt i nedfallet. I Närpes och Replot är svavel- och nitratkvävenedfallet på öppet fält som störst i december och januari. Nedfallet är också surast under vintern. Däremot är nedfallet av ammoniumkväve störst under sommarmånaderna. I skogen är årstidsväxlingarna lite annorlunda, eftersom det torra nedfallet som trädkronan samlat inte sköljs bort av snön. På våren när det torra nedfallet som samlats under vintern sköljs bort med regnvattnet ner till marken, kommer det mer nitratkväve till skogsmarker än till öppet fält, fastän förhållandet på årsbasis mellan det uppmätta nitratkvävenedfallet på öppet fält och i skogsbestånd är omvänt. Mest sköljs det bort torrt svavelnedfall liksom också nitratkväve från trädkronorna med rikliga regn, särskilt på våren. I Kelviå är ammoniumnedfallet året runt större i skogsbestånd än på öppet fält.



# MERENKURKUN ALUEEN KUUSIKOT GRANSKOGARNAS ALLMÄNNA TILLSTÄND

Hannu Yli-Kojola & Mats Walheim

*Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueen maa-alasta metsämaata on noin 68 %. Metsistä 33 % on kuusivaltaisia ja kuusen osuus puuston kokonaistilavuudesta on 43 %. Vaasan läänin rannikolla ja saaristossa kuusivaltaiset metsät ovat selvästi vanhempia kuin keskimäärin Etelä-Suomessa. Hakkuumäärät ovat myös olleet pienempiä kuin muualla. Pääosa todetuista tuhoista on luontaisia, useimmiten lahoittajasisienien tai sääolojen aiheuttamia. Osa tuhoista aiheutuu puuston korkeasta iästä, mutta ilmeisesti myös rannikon omaleimaiset kasvupaikka- ja ilmastotekijät vaikuttavat kuusten kuntoon.*

*Metsämaan osuus Västerbottenissa lisääntyy tuntureilta merelle päin, rannikolla noin 75 % pinta-alasta on metsämaata. Ilmasto heikentää asteittain sisämaahan siirryttäessä metsämaan tuotoskykyä. Yli 80-vuotiaiden metsien pinta-alasta noin 2/3 on kuusikoita, nuorempien metsien pinta-alasta kuusikoita on vain 1/4. Metsien ikäjakauma on vinoutunut etenkin sisämaassa, missä on paljon nuoria ja vanhoja, mutta vähän keski-ikäisiä metsiä. Kuusikoiden pinta-alasta noin 4 %:lla esiintyy lieviä, useimmiten ilmaston aiheuttamia tuhoja.*

*Österbottens skogsnämnds totala markareal utgörs till ca 68 % av skogsmark. 33 % av skogarna är grandominerade, och granens andel av skogarnas totala volym är 43 %. Granskogarna i detta område är i medeltal klart äldre än i södra Finland. Avverkningsvolymerna är också lägre än i andra delar av Finland. De skador som förekommer är i huvudsak naturliga, oftast orsakade av röta eller klimatfaktorer. En del av skadorna beror på trädbeståndets höga ålder, men också på de speciella ståndorts- och klimatfaktorerna i kustområde som påverkar granarnas livskraft.*

*Andelen skogsmark i Västerbotten ökar från fjäll till hav. I kustområdet är ca 75 % av arealen skogsmark. Skogsmarkens bördighet försämras av klimatiska orsaker successivt inåt landet. Skogens åldersfördelning är sned, särskilt i inlandet med gott om yngre och äldre skog, medan medelålders skog är mindre vanlig. I skog äldre än 80 år finns granskog på ca 2/3 av arealen, i yngre skog endast på 1/4. I granskog var 4 % av arealen drabbad av någon typ av beståndsskada. Skadorna på träd och bestånd var i regel lindriga och var oftast orsakade av klimatfaktorer.*

\* Suomessa ja Ruotsissa metsien tilaa on seurattu jo 1920-luvulta lähtien valtakunnan metsien inventoinnein. Kuvassa Hannu Parikka (vas.) ja Juhani Moilanen (oik.). Kuva: Erkki Oksanen.

*Både i Sverige och i Finland har man sedan 1920-talet följt skogarna med s.k. riksskogstaxeringar. På bilden Hannu Parikka (t.v.) och Juhani Moilanen (t.h.). Foto: Erkki Oksanen.*

## Valtakunnan metsien inventointi

Valtakunnan metsien inventoinnit (VMI) sekä Suomessa että Ruotsissa muistuttavat paljolti toisistaan. Tavoitteena on kuvata metsien tilaa, kasvua, hakkuita sekä metsissä tapahtuneita ja käynnissä olevia muutoksia. Tätä varten koaloilta tehdään erilaisia mittauksia ja arvioiteja sekä kerätään erilaisia näytteitä laboratoriossa tehtäviä määrittelyksiä varten. Myös metsänhoidollisten toimenpiteiden tarve sekä toteutetut hoitotoimenpiteet kirjataan. Tietoja käytetään lähinnä metsätalouden ja metsäteollisuuden suunnittelussa sekä ympäristön seurannassa.

Ensimmäinen koko maan kattava valtakunnan metsien inventointi tehtiin Suomessa vuosina 1921–24. Kahdeksas inventointi toteutettiin vuosina 1986–94 (Kuusela ja Salminen 1991, Tomppo 1993). Valtakunnan metsien inventoinnista vastaa Suomessa Metsäntutkimuslaitos. Inventointi tehdään ns. lohkoarviointina, jossa koalat on sijoitettu systemaattisesti  $\Gamma$ -muotoisen lohkon sivuille. Lohkojen väliset etäisyydet samoin kuin lohkoilla sijaitsevien koalojen määrä vaihtelee maan eri osissa. Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueella lohkojen etäisyydet ovat 7 x 8 km ja lohkoilla sijaitsevat 21 koalaa ovat 200 m:n päässä toisistaan. Yksi koala vastaa 262 hehtaaria. Kaikki mittaukset ja arvioinnit tehdään näillä koaloilla tai niiden läheisyydessä. Vuosittain inventoidaan osa Suomesta, koko maa tulee inventoitua vajaassa kymmenessä vuodessa. Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueella mitattiin vuonna 1991 metsämaalla kaikkiaan 1 823 koalaa, joista 591 koalaa oli kuusivaltaisissa metsissä. Kaikkiaan mitattiin 14 225 puuta, joista kuusia oli 5 626 kpl.

Ruotsissa ensimmäinen valtakunnan metsien inventointi tehtiin vuosina 1923–29. Vuodesta 1938 inventointia on tehty vuosittain ja nyt meillä on oleva seitsemäs inventointi aloitettiin vuonna 1993. Valtakunnan metsien inventoinnista vastaa Ruotsin maatalousyliopiston metsätieteellisen tiedekunnan metsäarvioimistieteen laitos (nykyisin Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik) Uumajassa.

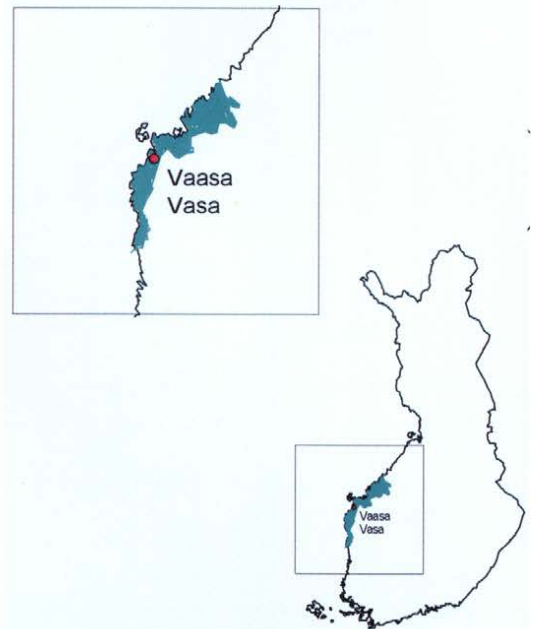
Inventointi perustuu maan kattavaan neliömuotoisten arviointilohkojen verkkoon ( $\square$ ), joka on tiheämpi Etelä- kuin Pohjois-Ruotsissa. Ympyräkoalat sijaitsevat määrättyissä kohdissa lohkon sivuilla. Kaikki mittaukset ja arvioinnit tehdään näillä koaloilla tai niiden läheisyydessä. Puolet

arviointilohkoista on pysyviä ja puolet tilapäisiä. Pysyvät lohkot perustettiin ja inventoitiin ensimmäisen kerran vuosina 1983–87 ja ne inventoidaan uudelleen joka viides vuosi. Tilapäiset lohkot inventoidaan ainoastaan kerran (Ranneby ym. 1987).

Koska vuosittainen inventointi Västerbottenin läänissä käsittää noin 1 500 koalaa, tässä artikkelissa esitettävät tulokset pohjautuvat vuosien 1988–92 aineistoon luotettavamman kuvan saamiseksi.

## Kuusikot ja kuusivaltaiset metsät

Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueen (kuva 30) maa-ala on 6 976 km<sup>2</sup>, josta metsätalousta maata on 76 % ja metsämaata 68 % (Aarne 1995). Metsien puulajisuhteet ilmenevät lähemmin kuvasta 31. Männyn osuus puuston kokonaistilavuudesta on 36 %, kuusen 43 % ja lehtipuiden 21 %. Kuusivaltaisten metsien pinta-ala on 1 542 km<sup>2</sup>. Niistä 33 % on lähes puhtaita kuusikoita, joissa vallitsevan puuston tilavuusosuus on yli 95 %. Kuusivaltaisista



**Kuva 30.** Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alue.

**Figur 30.** Österbottens skogsnamnds område.

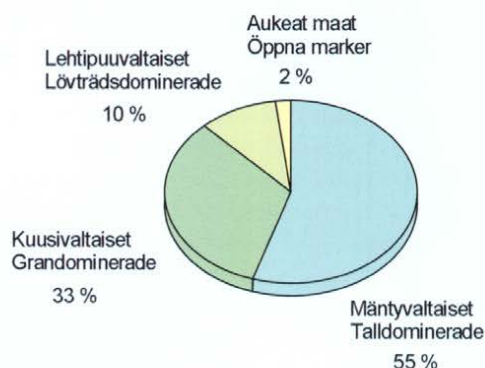
## Riksskogstaxeringen

Riksskogstaxeringarna (RT), som har stora likheter i Finland och Sverige, är ett fortgående system för uppföljning av ländernas skogsresurser. Taxeringarna genomförs i form av stickprovsinventeringar. Syftet är att beskriva skogarnas tillstånd, tillväxt, avverkning samt inträffade och pågående förändringar av olika slag. Här för utförs på provytorna olika mätningar och taxeringar samt insamlas olika prov för analys på laboratorium. Också behovet av olika skogsskötselåtgärder samt de faktiskt utförda skogsvårdsåtgärderna anges. Uppgifterna används främst för planering av skogsbruk och skogsindustri, samt för uppföljning av miljöförändringar.

Den första taxeringen i Finland som täckte hela landet gjordes 1921–24. Den åttonde taxeringen gjordes under åren 1986–94 (Kuusela och Salminen 1991, Tomppo 1993). Riksskogstaxeringen i Finland utförs av Skogsforskningsinstitutet som en s.k. trakttaxering, där provytorna har utplacerats i systematiskt liggande  $\Gamma$ -formade trakter. Avståndet mellan trakterna och mellan antalet provytor i trakten varierar i olika delar av landet. Inom Österbottens skogsnämnds område är avståndet mellan trakterna 7 x 8 km, och de 21 provytorna inom trakten ligger på 200 m:s avstånd från varandra. En provyta motsvarar 262 hektar. Alla mätningar och taxeringar görs på dessa provytor eller i närheten av dem. Inom Österbottens skogsnämnds område uppmättes år 1991 sammanlagt 1 823 provytor på skogsmark, av vilka 591 provytor ligger i grandominerade skogar. Sammanlagt 14 225 träd har mätts, av vilka 5 626 är granar.

Sveriges första riksskogstaxering utfördes under åren 1923–29. Från år 1938 har arbetet pågått årligen, och sedan dess har sex taxeringar genomförts. Den sjunde taxeringen, som nu pågår, startade år 1993. Riksskogstaxeringen utförs av institutionen för skogstaxering (numera skoglig resurshushållning och geomatik) vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå.

Varje år täcks hela landet av ett glest stickprov av kvadratiska s.k. taxeringstrakter (□). På bestämda lägen längs sidorna på taxeringstrakterna läggs cirkulära provytor ut. Alla mätningar och bedömningar vid inventeringen görs på eller i anslutning till dessa provytor. Trakterna är fördelade över landet efter ett visst mönster, som är tätare i södra



**Kuva 31.** Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueen metsien puulajisuhteet vuonna 1991.

**Figur 31.** Skogarnas trädslagsfördelning inom Österbottens skogsnämnds område år 1991.

än i norra Sverige. Halva antalet trakter är permanenta. Dessa lades ut och inventerades första gången under femårsperioden 1983–87 och återinventeras med jämna mellanrum (vart femte till vart tionde år). Övriga trakter är tillfälliga och inventeras bara en gång (Ranneby m. fl. 1987).

Det årliga stickprovet är relativt litet, ca 1 500 provytor för hela Västerbottens län. För att få större säkerhet i skattingarna bygger nedanstående uppgifter därför på fem års material från åren 1988–92.

## Granbestånd och grandominerade skogar

Österbottens skogsnämnds (figur 30) totala markareal är 6 976 km<sup>2</sup>. Av området är 68 % skogsmark, och det finns sammanlagt 76 % skogsbruksmark (Aarne 1995). Trädslagsfördelningen framgår av figur 31. Tallens andel av totalvolymen är 36 %, granens 43 % och lövträdens 21 %. Arealen för grandominerade skogar är 1 542 km<sup>2</sup>. Av dem är 33 % nästan rena granbestånd, d.v.s. granens totalvolym är över 95 % och 68 % är sådana grandominerade skogar, där granens andel av totalvolymen är över 75 %. Granskogarna är helt klart äldre än i södra Finland i allmänhet (figur 32). 60 % av de

metsistä 68 % on sellaisia, joissa kuusen osuus on yli 75 % kokonaistilavuudesta. Vaasan läänin rannikolla ja saaristossa kuusimetsät ovat selvästi vanhempia kuin keskimäärin Etelä-Suomessa (kuva 32). Kuusivaltaisten metsien pinta-alasta 60 % on yli 80- ja 34 % yli 100-vuotiaita metsiä.

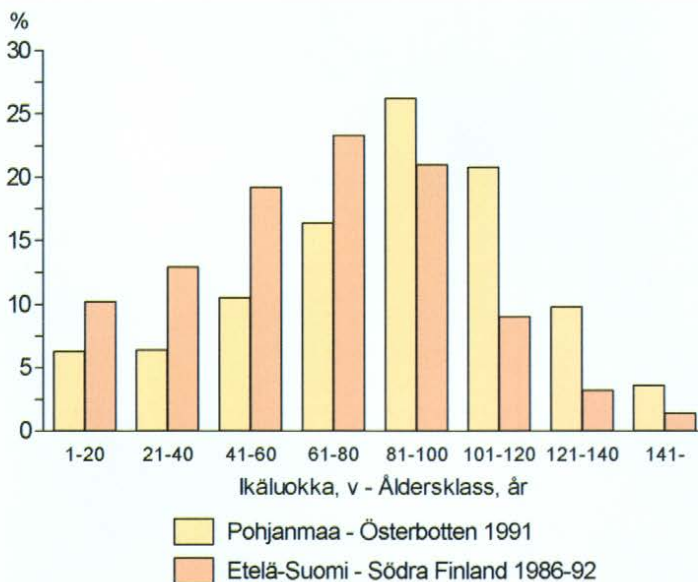
Västerbottenin rannikon, lappmarkenin itäpuolinen osa, maa-ala on 18 000 km<sup>2</sup>, josta 13 000 km<sup>2</sup> on tuottavaa metsämaata. Vastaavat luvut lappmarkenin rajan länsipuolisessa osassa lääninä ovat 37 000 ja 18 000 km<sup>2</sup>. Metsämaan osuus vaihtelee Västerbottenin läänin eri osissa, mutta sen osuus kuitenkin vähenee rannikolta sisämaahan. Metsien käytön historiasta viimeisten 150 vuoden aikana ja männyn suosimisesta metsänviljelyssä johtuu, että metsien ikäjakauma on vinoutunut etenkin sisämaassa, missä on paljon nuoria ja vanhoja, mutta vähän keski-ikäisiä metsiä. Ikäluokkien osuus metsämaalla eri osissa Västerbottenin lääninä ilmenee kuvasta 33.

Kuusikoiden osuus metsämaan alasta Västerbottenin läänin alueella ilmenee kuvasta 34. Eniten kuusikoita on aivan rannikolla ja ennen kaikkea tunturien reunamilla. Vähiten kuusta kasvaa läänin keskiosissa johtuen suurelta osin nuorista viljelymänniköistä. Kuusikoita, joissa kuusen osuus on vähintään 50 %, on läänin alueella noin 10 500 km<sup>2</sup>. Puolet vanhojen metsien pinta-alasta on kuusikoita. Alle 80-vuotiaista metsistä kuusikoita on vain 15–20 % pinta-alasta. Kuusikoiden alhainen osuus

nuorissa metsissä johtuu siitä, että metsänhoidossa on suosittu mäntyä viimeisten 40 vuoden ajan. Kuusimetsät ovat huomattavasti yleisempiä lappmarkenin alueella (40 % pinta-alasta) kuin rannikolla (24 % pinta-alasta).

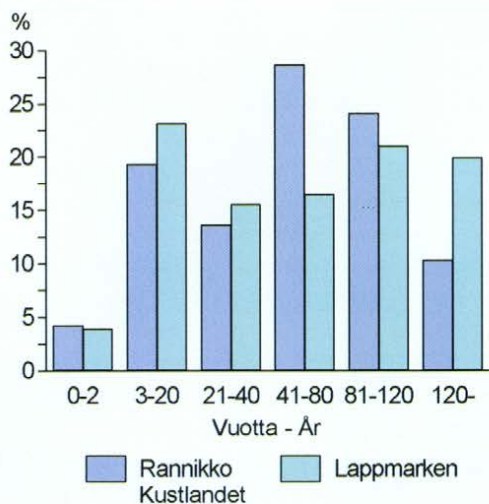
## Tuhojen esiintyminen

Vakavia tuhoja Pohjanmaan metsälautakunnan kuusikoissa esiintyi 4 400 ha:lla (3 %), muita metsikön laatua alentavia tuhoja 11 %:lla ja lieviä tuhoja lisäksi 16 %:lla kuusimetsien alasta. Tuhoista 63 % oli syntynyt yli viisi vuotta ennen inventointihetkeä. Eniten metsiköissä oli kaatuneita ja katkenneita sekä harsuuntuneita puita (kuva 35). Kaatuneita ja katkenneita puita esiintyi kuusikoissa suhteellisesti kolme kertaa suuremmalla alueella kuin Etelä-Suomessa, myös pystykuolleita puita oli laajemmalla alueella. Harsuuntumista esiintyi lähes puolella kuusimetsien pinta-alasta, mikä on yli puolet enemmän kuin Etelä-Suomessa keskimäärin. Voimakasta harsuuntumista oli kolme kertaa enemmän. Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueella kuuset ovat myös eri ikävaiheissa harsuuntuneempia kuin keskimäärin Etelä-Suomessa. Yli 100-vuotiailla puilla harsuuntumisaste oli keskimäärin 15–20 %. Harsuuntuminen oli yli 40 % noin 5 %:lla kuusten tilavuudesta.



**Kuva 32.** Puuston eri ikäluokkien osuus (%) kuusivaltaisten metsien pinta-alasta Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueella vuonna 1991 ja Etelä-Suomessa vuosina 1986–92.

**Figur 32.** De grandomnerade skogarnas fördelning (%) på olika åldersklasser inom Österbottens skogsnämnds område år 1991 och i södra Finland åren 1986–92.



**Kuva 33.** Puuston eri ikäluokkien osuus (%) metsämaalla Västerbottenin läänin eri osissa vuosien 1988–92 inventointien keskiarvona.

**Figur 33.** Skogsmarksarealen (%) fördelad på åldersklasser per länsdel i Västerbotten som medelvärde från inventeringarna 1988–92.

grandominerade skogarnas areal finns i skogar som är över 80 år gamla och 34 % finns i skogar över 100 år gamla.

I Västerbotten är den totala landarealen i kustlandet, d.v.s. öster om lappmarksgränsen, 18 000 km<sup>2</sup>, varav 13 000 km<sup>2</sup> är produktiv skogsmark. Motsvarande siffror för lappmarken är 37 000 respektive 18 000 km<sup>2</sup>. Skogsmarksandelen varierar över olika delar av länet, men andelen skogsmark minskar ju längre in i landet man kommer. Trakthyggesbruket infördes i början av femtiotalet och har lett till att dagens skogar har en sned åldersfördelning. Särskilt i inlandet finns det gott om yngre och äldre skog, medan medelålders skog är mindre vanlig. Skogsmarkens fördelning på olika åldersklasser framgår av figur 33.

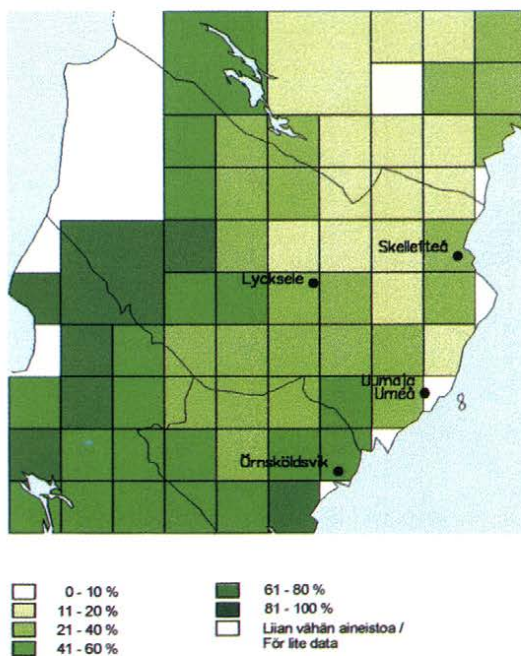
Granens andel av alla trädslag på skogsmarken framgår av figur 34. Störst andel har granen alldeles vid kustbandet och framförallt inmot fjällkanten. Minst gran finns i de centrala delarna av länet, mycket beroende på unga ensartade tallplanteringar.

I länet finns skogstypen granskog, d.v.s. där granandelen är minst 50 %, på ca 10 500 km<sup>2</sup>. Hälften av den äldre skogen är bevuxen med granskog. Vid beståndsåldrar under 80 år finns granskog endast på 15–20 % av arealen. Den låga

andelen gran i yngre skog beror på att tall de senaste 40 åren gynnats i skogsskötseln. Totalt sett är granskog betydligt vanligare i lappmarken än i kustlandet, 40 % respektive 24 % av arealen.

## Förekomst av skador

I Finland förekommer allvarliga skador i granbestånd på ca 4 400 ha (3 %). Andra skador som sänker skogens kvalitet uppgick till 11 % av bestånden, medan 16 % av granskogsarealen hade lindriga skador. 63 % av skadorna hade uppstått



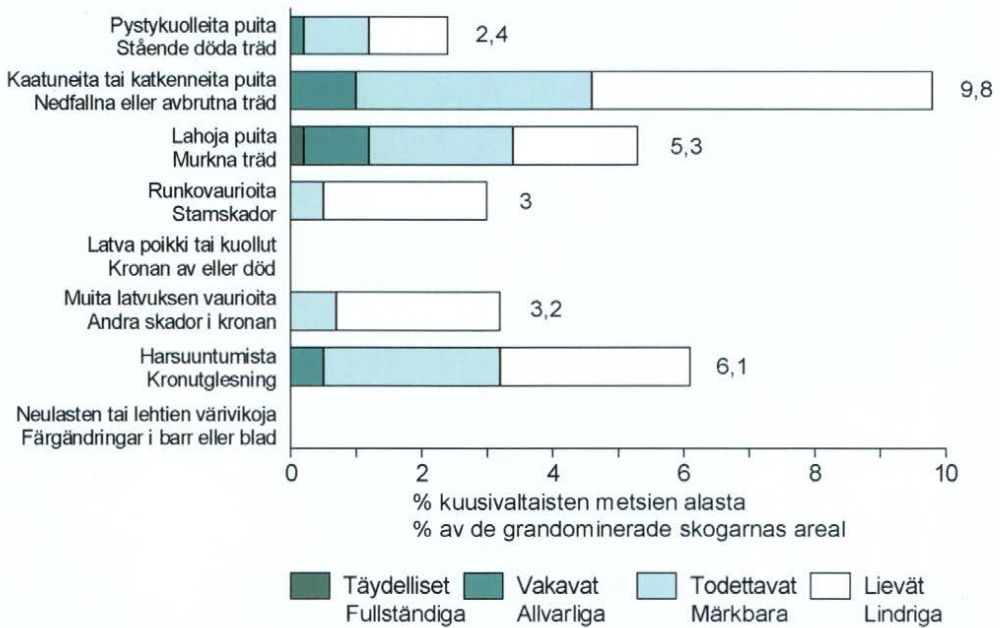
**Kuva 34.** Kuusen osuus (%) metsämaalla kasvavan puuston tilavuudesta Västerbottenin läänissä ja Örnsköldsvikin kunnassa 1988–92 inventointien mukaan. Metsiköissä, joissa puusto on rinnankorkeuslämpimitaltaan > 10 cm, osuus on laskettu tilavuudesta ja puuston ollessa rinnankorkeudeltaan < 10 cm osuus on laskettu runkoluvusta. Kutakin neliötä vastaa vähintään 50 koealaa.

**Figur 34.** Granens andel (%) av alla trädslag på skogsmark i Västerbottens län och Örnsköldsvik kommun. Grundat på inventeringarna 1988–92. Granens andel av alla trädslag. I skog > 10 cm i brösthöjd andel av volym, i skog < 10 cm i brösthöjd andel av huvudstammar. Varje kvadrat motsvaras av minst 50 provtytor.

Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueella tärkeimpiä tuhon aiheuttajia ovat erilaiset sienitaudit, joista lahottajasienet ovat merkittävimpiä, sekä erityisesti tuuli ja muut ilmastotekijät, joiden osuus on selvästi suurempi kuin Etelä-Suomessa keskimäärin. Lisäksi puiden keskinäinen kilpailu ja puutavaran korjuu ovat aiheuttaneet osan tuhoista. Vaurioita jättäviä tuhoja esiintyi yhteensä 19 %:lla ja lieviä tuhoja 8 %:lla kuusten tilavuudesta. Lahoja esiintyi puolet enemmän kuin Etelä-Suomessa. Lahopuun määrää ei inventoinneissa saada tarkalleen selvitettyä. Lahoja sisältävän puuston osuus oli 6 % kokonaistilavuudesta, mikä on vähemmän kuin edellisessä inventoinnissa. Varsinaista lahoppuuta tästä on vain osa. Männyistä lahoja oli 0,7 %, kuusista 6 % ja lehtipuista 16 %.

Västerbottenin läänin alueella oli vain 31 000 ha (4 %) 40–140-vuotiaita kuusikoita, joissa todet-

tiin erilaisia tuhoja. Tuhoja esiintyi yhtä paljon läänin eri osissa. Valtaosa tuhoista oli lumen ja tuulen aiheuttamia. Vakavia tuhoja ilmeni hyvin vähän. Inventoinnin yhteydessä kaadetuista kuusista ilmeni tuhoja 13 %:ssa puista. Yleisimpiä tuhoja, noin 5 %, olivat katkeamat, kuivat latvat ja kaksoisrungot. Rinnankorkeudelta lahoja puuta oli vain 1,5 % puustosta. Koska lahovikaa on vaikea havaita, esitetty prosenttiluku voi todellisuudessa olla hieman suurempi. Pahimpia tuhoja pitkällä aikavälillä tarkasteltuna ovat olleet myrskytuhot. Kuvassa 36 on esitetty eri tuhojen osuus (%) inventoinnin yhteydessä kaadetuista puista (700 kpl) Västerbottenin läänissä vuosina 1988–92. Vuosittain kuolee kuusia luontaisesti noin 2 % kasvusta. Tämä tarkoittaa kuvainnollisesti sitä, että vuodessa kuolee yksi, läpimitaltaan 10–14 cm paksu puu hehtaaria kohden.

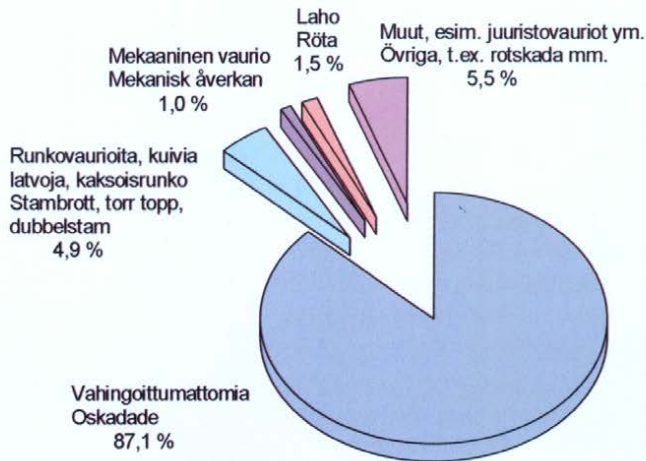


**Kuva 35.** Tuhotyyppien osuus (%) kuusivaltaisissa metsissä Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan alueella vuonna 1991.

**Figur 35.** Fördelningen av skadetyper (%) i de grandominerade skogarna inom Österbottens skogs-nämnds område år 1991.

**Kuva 36.** Kaadetuissa kuusissa todettujen tuhojen osuus (%) Västerbottenin läänissä vuosina 1988–92 tehtyjen inventointien perusteella.

**Figur 36.** Observerade skador (%) på fällda provträd av gran, fördelat efter skadetyper i Västerbottens län baserad på inventeringarna under åren 1988–92.



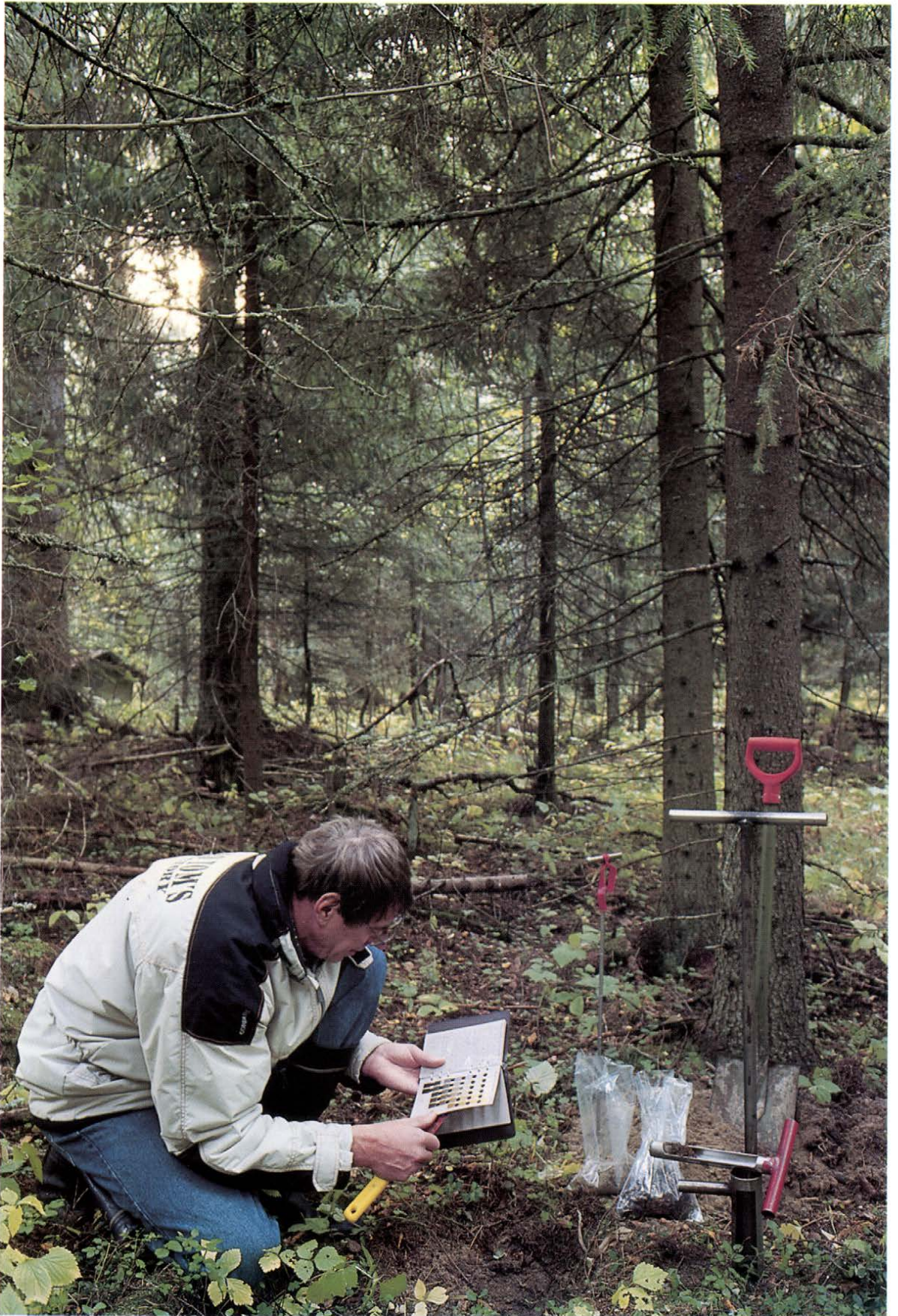
tidigare än 5 år före taxeringen. Skadorna utgjordes mest av vindfällan och brutna träd samt av kronutglesning i dessa bestånd (figur 40). Vindfällan samt brutna träd förekom i granskog – relativt räknat – i ett tre gånger större område än i södra Finland. Också stående döda träd förekom i ett mera omfattande område. Kronutglesning förekom på nästan hälften av granskogarnas areal, vilket är över 50 % mera än i södra Finland i medeltal. Stark kronutglesning förekom tre gånger mera än i södra Finland. Inom Österbottens skogsnämnds område är granarna i olika åldersskeden mer utglesande än i genomsnitt i södra Finland. Över 100 år gamla träd hade en utglesningsgrad på i medeltal 15–20 %. Av granvolymen hade 5 % en kronutglesning som överskred 40 %.

Viktigaste skadeorsak inom Österbottens skogsnämnds område är olika svampsjukdomar, varav röt-svamp är den mest betydande, samt i synnerhet vind- och andra klimatfaktorer vars andel är klart större än i södra Finland i medeltal. Därtill har bl.a. konkurrens mellan träden och utdrivning av virke förorsakat en del av skadorna. Av granens totala volym hade sammanlagt 19 % allvarliga skador, och 8 % lindriga skador. Relativt räknat förekom det också 50 % mera röta än i hela södra Finland. Hur stor andel som var rötskadade träd gick inte att exakt fastställa i inventeringen. Men på bestånds-

nivå utgjorde andelen trädbestånd som innehöll röt-skadade träd 6 % av den totala volymen, vilket var mindre än i den föregående inventeringen. I fråga om tallen var andelen rötskadade träd 0,7 medan motsvarande siffra för gran var 6 % och för löv-träden 16 %.

För Västerbottens län som helhet var endast 31 000 hektar (4 %) av granskogen mellan 40 och 140 år drabbad av någon typ av beståndsskada. Skadefrekvensen är i stort sett densamma i de olika länsdelarna. Den dominerande skadetyper är snö- och vindskador. Svåra skador upptar mycket små arealer.

På provträden av gran finns i den svenska Riksskogstaxeringen skador registrerat på 13 % av träden. Vanligaste skadetyper, ca 5 %, är stambrott, torrtopp eller dubbelstam. Rötskadade i brösthöjd var endast 1,5 % av träden. Fast röta kan vara svår-upptäckt, varför den siffran kan vara något låg. Ser man över en längre period är omfattande stormskador under enstaka år den allvarligaste förekommande skadan. Figur 36 visar andelen av olika skadetyper (%) på provträden (700 st.) vid inventeringen i Västerbottens län år 1988–92. Volymen av det årliga naturliga avdöendet, d.v.s. granar som under ett år dött p.g.a. vind, röta etc, utgör ca 2 % av tillväxten. Det betyder att ett träd med en brösthöjdsdiameter på 10–14 cm dör per hektar och år.



# KUUSIKOIDEN MAAPERÄ GRANSKOGARNAS MARKTILLSTÅND

Päivi Merilä, Hannu Raitio & Mats Walheim

*Merenkurkun kuusikoiden maat ovat luontaisesti happamia ja vähäravinteisia, varsinkin vanhojen kuusikoiden humus. Humuksen kertyminen eli orgaanisen aineksen hidas hajoaminen on ravinnetaloudellinen ongelma erityisesti Pohjanmaan rannikon kuusikoissa.*

*Kangasmaille ominainen rautapodsolimaannos tavattiin noin puolella Västerbottenin havaintokuusikoista, kun taas Pohjanmaan rannikolla niiden osuus oli vain 13 %. Kosteiden kasvupaikkojen maannoksien, humuspodsolin ja gleimaannoksen, osuus oli Pohjanmaan kuusikoissa huomattava, 58 %. Pohjanmaan rannikolla moreenit ovat hienojakoisia, mikä lisää metsämaiden soistumisalttiutta. Sen sijaan Västerbottenin kuusikoissa hienojakoiset kivennäismaat olivat harvinaisia. Vaasan läänin rannikkoalueelle on ominaista myös lohkaraisuus ja kivisyys, mikä johtuu Vaasan graniitin rakoiluista ja rapautumisesta.*

*Kivennäismaan metallipitoisuudet – kalium, kalsium, magnesium, sinkki, natrium, alumiini, kromi ja nikkeli – olivat Suupohjan alueella korkeampia kuin muualla tutkimusalueella.*

*Jordarna i Kvarkenområdets granbestånd är av naturen sura och näringsfattiga. Detta gäller särskilt humusskiktet i gamla granbestånd. Ackumulering av humus, d.v.s. den långsamma nedbrytningen av organiskt material, är ett problem i näringshushållningen i Kvarkenområdets granskogar, speciellt i Österbottens kustland.*

*Järnpodsoljordmåner som är typiska för fastmarker påträffades i omkring hälften av de undersökta granbestånden i Västerbotten, medan deras andel i Österbottens kustland var 13 %. I den här undersökningen var andelen jordmåner som är typiska för fuktiga ståndorter, d.v.s. humuspodsol och gleyjordmån, påfallande stor i Österbotten, 58 %. I Österbottens kustland består moränjordarna av fint material, vilket ökar deras benägenhet för försumpning. Däremot är mineraljordar med fint material sällsynta i Västerbotten. Blockrikedom och stenighet är också utmärkande drag för Vasa läns kustområde där Vasagraniten, som är en bergart som lätt vittrar och spricker, förekommer.*

*Metallhalterna i mineraljorden – kalium, kalcium, magnesium, zink, natrium, aluminium, krom och nickel – var högre i Sydösterbotten än i undersökningsområdet i övrigt.*

**Maannoskuvausten ja maanäytteiden avulla saadaan tietoa maaperän kemiallisista ja fyysikaalisista ominaisuuksista. Kuvassa Teuvo Levula. Kuva: Erkki Oksanen.**

**Jordmånsbeskrivningar och markprover ger information om markens kemiska och fysikaliska egenskaper. På bilden Teuvo Levula. Foto: Erkki Oksanen.**

## Maannos kasvupaikan kuvaajana

Metsämaiden viljavuuteen vaikuttavat monet luontaiset tekijät, kuten maaperän raekostumus, kivisyys, kemialliset ominaisuudet, pohjaveden liikkuvuus ja pohjavesipinnan korkeus sekä ilmasto-tekijät. Luontaisten tekijöiden lisäksi myös ihmisen toiminta, kuten maanpinnan käsittely, puunkorjuu, puulajin valinta ja saastelaskeuma vaikuttavat maan viljavuuteen ja maannostumiseen (Lipas 1985, Lundmark 1986, Tamminen 1993).

Suurin osa metsäkasvillisuuden käytettävissä olevista ravinteista on sitoutuneena kivennäismaan pintaa peittävään humuskerrokseen, minkä vuoksi hienojuuristo sijaitsee pääosin tässä kerroksessa. Humuskerroksen laatu ja paksuus riippuvat kasvillisuudesta sekä maaperän hajottajaeliöstön toimintaa säätelevistä ympäristötekijöistä. Karuilla, happamilla metsämailla vallitseva humuslaji on kangashumus. Viljavien kasvupaikkojen humuskerros on multaa tai mullasta, joka on kangashumuksen ja mullan välimuoto.

Turvetta muodostuu suokasvillisuudesta hapetomissa, märissä oloissa. Luonnontilainen turvekerros, josta myöhemmin käytämme nimeä "turve 1" on maatuneisuudeltaan kerroksellinen. Ojituksen, laiduntamisen tai muokkauksen seurauksena turvekerroksen kerrostuneisuus voi hävitä, jolloin muodostuu rakenteeltaan yhtenäinen, ulkonäöltään multaa muistuttava kerros ("turve 2").

Havupuuvaltaiset metsämaat kuuluvat yleensä podsoleihin. Podsolimaannokselle on ominaista kivennäismaasta selvästi erottuva kangashumuskerros. Sen alla on tuhkanharmaa huuhtoutumiskerros (E-horisontti), joka vaihtuu alaspäin mentäessä punertavaksi-tummanruskeaksi rikastumiskerrokseksi (B-horisontti). Rikastumiskerroksen alapuolella on muuttumaton pohjamaa (C-horisontti) (Petersen 1976). Podsolimaannoksen horisontit kehittyvät pääosin raudan ja alumiinin huuhtoutuessa kivennäismaan pintaosista alaspäin.

Podsoliprofiili muodostuu hitaasti, olosuhteista riippuen satojen tai tuhansien vuosien kuluessa. Tämän vuoksi nuorilla mailla, kuten Merenkurkun alueella, maannos voi olla heikosti kehittynyt. Tällöin ei ole selvästi erotettavissa huuhtoutumis- ja rikastumiskerrosta. Nuoriksi maiksi luokitellaan Litorinamerivaiheen aikana veden alle jääneet, iältään korkeintaan noin 7000 vuotta vanhat maat (Aaltonen 1940).

Rautapodsoli on maannostyyppi, jonka rikastu-

miskerros on punertava tai vaalean ruskea. Tällainen maannos esiintyy kasvupaikoilla, joilla pohjavesipinnan korkeus ei yllä rikastumiskerrokseen. Kasvupaikoille, joilla pohjavesipinta saattaa yltää aika ajoin rikastumiskerrokseen saakka, on puolestaan ominaista humuspodsoli. Sen rikastumiskerros on tummanruskea tai lähes musta ja se sisältää runsaasti orgaanista ainesta. Selvästi kerroksellisen podsolimaannoksen syntyminen estyy metsämailla, joilla pohjavesipinnan korkeus vaihtelee ja on ajoittain suhteellisen korkealla. Tällöin muodostuu gleimaannos, jolle on ominaista paljain silmin erotuvat pystysuuntaiset, ruosteenväriset täplät ja raidat kivennäismaassa. Kun turvekerroksen paksuus on yli 30 cm, puhutaan turvemaannoksesta. Oloissamme harvinaisiin maannoksiin kuuluvat savi-, rusko- ja podsoloituneet ruskomaannokset.

## Maaperätutkimukset

Maaperän ominaisuuksien kartoittamiseksi kerättiin kesällä 1993 maanäytteet Vaasan läänin rannikon 29 ja Västerbottenin 20 havaintokuusikosta. Västerbottenin neljältä turvemaa-alalta näytteet kerättiin vain humuskerroksesta. Samassa yhteydessä määritettiin (Suomen puolella 31 havaintokuusikosta) humuslaji, maannos, maannoshorisonttien värit ja paksuudet, kivisyys, kivennäismaan lajittuneisuus ja keskiraekoko.

Maanäytteet kerättiin humuskerroksesta sekä kivennäismaasta 0–5, 5–20, 20–40 ja Ruotsin puolelta myös 60–70 cm:n syvyydestä, mikä kivisyyden vuoksi oli ylivoimaista Suomen puolella. Näytteistä määritettiin pH vesi- ja bariumkloridilietokista sekä orgaanisen aineksen määrä. Tehoisan ja potentiaalisen kationinvaihtokapasiteetin määrittämiseksi analysoitiin bariumkloridi- ja neutraalista (pH 7,00) ammoniumasettiinutuksesta happamuus sekä kalsium- (Ca), magnesium- (Mg), mangaani- (Mn), kalium- (K), natrium- (Na), alumiini- (Al) ja rautapitoisuudet (Fe). Typpi- ja hiilipitoisuudet analysoitiin CHN-analysaattorilla. Totaalianalysillä (tuhkitus + liuotus suolahappoon, Halonen ym. 1983) määritettiin kupari- (Cu), sinkki- (Zn), kadmium- (Cd), lyijy- (Pb), kromi- (Cr) ja nikkelpitoisuudet (Ni). Västerbottenin näytteistä määritettiin lisäksi strontiumpitoisuudet

## Jordmänsbildning

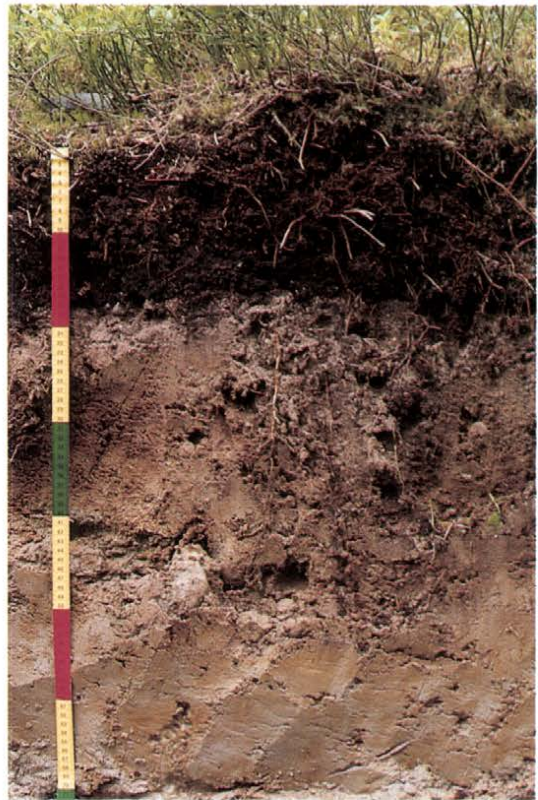
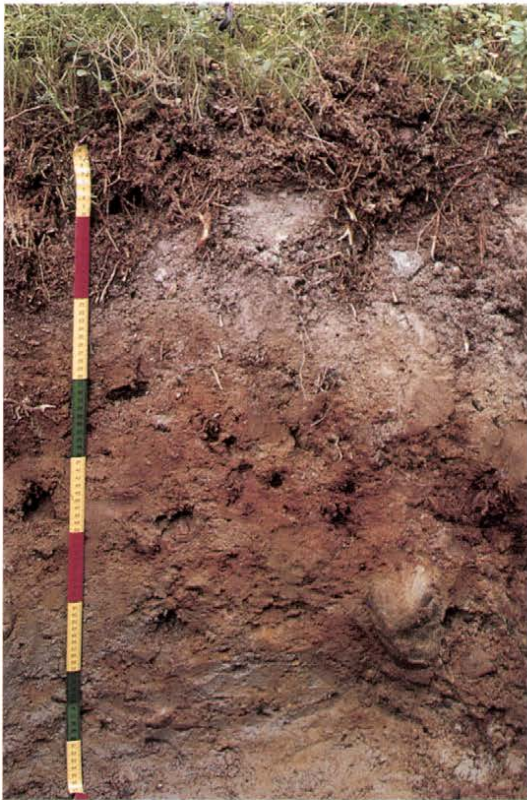
Det finns ett flertal miljöfaktorer som inverkar på skogsmarkernas bördighet. De viktigaste är jordartens textur, stenigheten, markens kemiska egenskaper, grundvattnets rörlighet och nivå samt klimatet. Förutom dessa faktorer inverkar även mänsklig verksamhet såsom markberedning, hyggen, val av trädslag och deposition av olika luftföroreningar på markens bördighet och jordmänsbildning (Lipas 1985, Lundmark 1986, Tamminen 1993).

Största delen av de näringsämnen som vegetationen i skogen kan utnyttja är bunden till humusskiktet som täcker mineraljorden. Därför är finrötterna huvudsakligen lokaliserade till detta skikt. Den typ och tjockleken humusskiktet har, beror på vegetationen och de miljöfaktorer som reglerar de

nedbrytande markorganismerna. På våra karga och sura skogsmarker är mår den dominerande humustypen. På bördiga ståndorter är humustypen mull eller moder, den senare är en mellanform mellan mår och mull.

På fuktiga och syrefattiga ståndorter bildas torv av ofullständigt nedbrutna myrväxter. Ett torvlager i naturtillstånd (som vi senare kommer att benämna "torv 1") är vanligen uppbyggt av skikt bestående av samma eller olika torvslag med varierande grader av nedbrytning eller humifiering. Som en följd av dikning, bete eller markberedning kan skiktningen i torven försvinna och ett jordartsskikt med enhetlig struktur som till utseendet påminner om mull uppkommer ("torv 2").

Jordmånstypen på barrträdsdominerade skogs-



Vasemmalla tyypillinen rautapodsoli Uumajan edustalta ja oikealla gleimaannos Luodon kunnasta.  
Kuva: Erkki Oksanen.

Till vänster en typisk järnpodsol från Umeåtrakten, och till höger en gleyjordmån från Larsmo. Foto: Erkki Oksanen.

(Sr) sekä Pohjanmaan näytteistä kalsium-, magnesium-, kalium-, natrium-, alumiini-, rauta- ja mangaanipitoisuudet. Neutraalista (pH 7,00) ja happamasta (pH 4,65) ammoniumasetaattiutoksesta sekä totaaliutoksesta mitattiin Suomen puolella myös fosfori- (P) ja rikkipitoisuudet (S). Todettakoon myös, että Suomesta ja Ruotsista kerätyt maanäytteet analysoitiin eri laboratorioissa.

## Kuusikot alttiita soistumaan

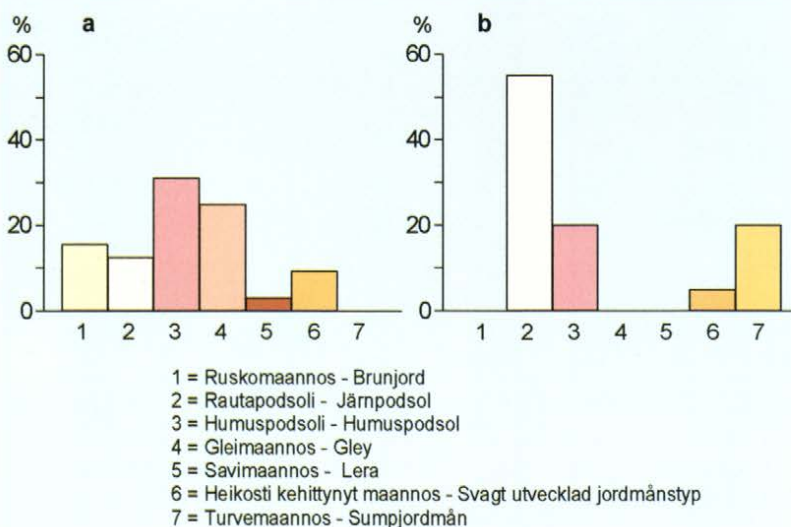
Tutkituissa kuusikoissa kosteille kasvupaikoille tyypilliset maannokset olivat varsin tavallisia. Pohjanmaan rannikolla humuspodsolia tavattiin 32 %:lla ja gleimaannosta 26 %:lla havaintokuusikoista (kuva 37a). Nämä maannostyytit olivat yleisimpiä vanhoissa kuusikoissa. Ruotsin puolella sekä humuspodsolin että turvemaannoksen osuus oli 20 % (kuva 37b). Kangasmaille tyypillistä rautapodsolia tavattiin noin puolella Västerbottenin havaintokuusikoista, kun taas Pohjanmaan rannikolla niiden osuus oli vain 13 %. Appelroth (1948) on esittänyt maankohoamisen myötä tapahtuvan pohjavesipinnan alenemisen heikentävän vähitellen kuusikoiden viljavuutta. Tulostemme mukaan Vaasan läänin rannikon kuusikot ovat pikemminkin alttiita soistumiselle.

Viljavien kasvupaikkojen maannoksia, rusko- ja podsoloitunutta ruskomaannosta, ei esiintynyt Ruotsin puolen aineistossa. Suomen puolella niiden

yhteen laskettu osuus oli 16 %. Nuoruutensa vuoksi heikosti kehittyneitä maannoksia oli Västerbottenin puolella 5 %:lla ja Pohjanmaan rannikolla 10 %:lla havaintokuusikoista (kuvat 37a ja b).

Humuslajeista kangashumus oli vallitseva molemmin puolin Merenkurkkua (kuvat 38a ja b). Suomen puolella kasvupaikat, joiden humus luokiteltiin turpeeksi, olivat tavallisimmin vanhoja metsiköitä. Humuksen paksuus vaihteli Suomen puolella 2–14 cm:iin, Västerbottenin puolella kangasmilla 5–17 cm:iin. Vaikka aineiston perusteella ei voitukaan havaita humuskerroksen olevan paksumpi vanhoissa kuin nuorissa metsissä, näyttäisi humuksen kertyminen, ts. orgaanisen aineksen hidas hajoaminen olevan ongelma Merenkurkun molemmin puolin. Pohjanmaan rannikolla paksuhumuksisten kuusikoiden osuus oli suurin gleimaannostyyppillä (kuva 39a).

Suomenpuoleiselle osalle Merenkurkun aluetta on ominaista lohkaraisuus ja kivisyys, mikä johtuu Vaasan graniitin rakoilusta ja rapautumisesta. Pohjanmaan havaintokuusikoista kaksi kolmannesta sijaitsee moreenimailla ja kolmannes lajittuneilla mailla. Ruotsin puolella 45 % maista on moreeneja, 35 % lajittuneita ja 20 % turvemaita. Pohjanmaan rannikolla lajittuneet maat keskittyvät tutkimusalueen pohjoisosaan, kun taas eteläosassa on yksinomaan moreeneja. Suomen moreenit ovat yleensä hienojakoisia keskiraekoon vaihdellissa hienosta hiedasta hienoon hiekkaan, sen sijaan Västerbottenin aineistossa hienojakoiset kivennäismaat olivat harvinaisia. Yleensä hienojakoisten maalajit-

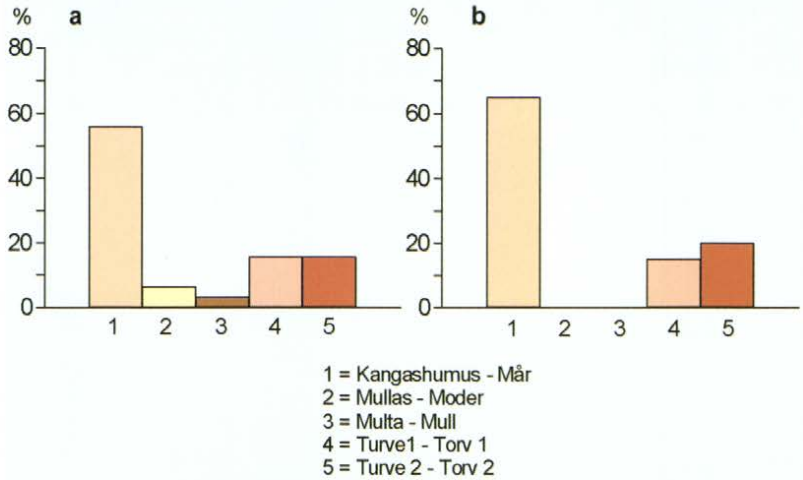


**Kuva 37a–b.** Maannostyyppien osuudet (%) kuusikoissa Pohjanmaan rannikolla (a) ja Västerbottenin läänissä (b). Tutkittuja kuusikoita oli Suomessa 31 ja Ruotsissa 20 kpl.

**Figur 37a–b.** Jordmånstypernas fördelning (%) i granbestånd i Österbottens kustland (a) och i Västerbotten (b). Antalet undersökta granbestånd var 31 i Finland och 20 i Sverige.

**Kuva 38a–b.** Humuslajien osuudet (%) kuusikoissa Pohjanmaan rannikolla (a) ja Västerbottenin läänissä (b). Tutkittuja kuusikoita oli Suomessa 31 ja Ruotsissa 20 kpl.

**Figur 38a–b.** Humustypernas fördelning (%) i granbestånd vid Österbottens kustland (a) och i Västerbotten (b). Antalet undersökta granbestånd var 31 i Finland och 20 i Sverige.



marker är vanligen podsol. Utmärkande för podsolen är att den täcks av ett märskikt som är tydligt avgränsat från mineraljorden. Under märskiktet finns ett askgrått urlakningsskikt – blekjorden (E-horisonen), som längre ner övergår i ett rött-mörkbrunt anrikningsskikt (B-horisonen). Under anrikningsskiktet ligger det föga påverkade underlaget (C-horisonen) (Petersen 1976). Horisonerna i podsolen utvecklas huvudsakligen genom att järn och aluminium urlakas ur mineraljordens blekjord, vilka sedan fälls ut i anrikningsskiktet.

Podsolprofilen bildas långsamt, under loppet av hundra- eller tusentals år, beroende på förhållandena. Därför kan jordmånerna på unga marker som i t.ex. Kvarkenområdet vara svagt utvecklade. I sådana fall kan urlaknings- och anrikningsskikten ännu inte urskiljas. Som unga klassificeras de marker som under Litorinahavsfasen hamnade under havsytan, d.v.s. högst 7000 år gamla marker (Aaltonen 1940).

En järnpodsol är en jordmånstyp, vars anrikningsskikt är rödsfärgat eller ljusbrunt. Den har uppkommit på ståndorter där grundvattnet inte når upp till anrikningsskiktet. På ståndorter där grundvattnet tidvis når upp till anrikningsskiktet har humuspodsoler uppkommit. Dess anrikningsskikt är mörkbrunt eller nästan svart och innehåller rikligt med organiskt material. På skogsmarker där grundvattenståndet varierar och ställvis är relativt högt förhindras uppkomsten av tydligt skiktade podsoljordmånerna. På sådana ståndorter bildas gleyjordmånerna som utmärks av tydligt skönjbara verti-

kala ränder eller fläckar i mineraljorden. Om ett över 30 cm djupt torvlager har bildats talar man om en histosol eller sumpjordmån.

## Jordmånsundersökningar

Under sommaren 1993 karterades jordmånernas egenskaper i Kvarkenområdet. I Vasa läns kustområde togs markprover från 29 utvalda granbestånd och i Västerbotten från 20. Från de fyra bestånd i Västerbotten vilkas marktyp var sumpjordmån togs bara prover av humusskiktet. Vid provtagningstillfället bestämdes (från sammanlagt 31 provytor i Finland) även ståndortens humustyp, jordmån, horisonernas färg och tjocklek, stenighet, mineraljordens sorteringsgrad samt medelkorstorlek.

Markproverna bestod av ett humusprov samt prover från 0–5, 5–20, 20–40 och i Sverige även 60–70 cm djup, vilket var alltför besvärligt i Vasa läns kustområde p.g.a. stenigheten. Analyserna omfattade pH (ur vatten- och bariumkloridsuspension) och halten av organiskt material; för bestämning av den effektiva och potentiella katjonutbyteskapaciteten bestämdes surhetsgraden samt halterna av kalcium (Ca), magnesium (Mg), mangan (Mn), kalium (K), natrium (Na), aluminium (Al) och järn (Fe) ur bariumklorid- och neutrala (pH 7,00) ammoniumacetatextrakt. Halterna av kväve (N) och kol (C) bestämdes med en CHN-analysator. Halterna av koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd),

teiden suuri osuus lisää kasvupaikan viljavuutta (Viro 1947, 1951, Lipas 1985, Westman 1990). Kuitenkin Tamminen (1993) on todennut kuusikoiden puuntuotoskyvyn laskevan hienoaineksen osuuden noustessa yli 20 %:n, mikä johtunee maan vedenläpäisevyyden heikkenemisestä (Lindroos 1991). Pohjanmaan alueella hienojakoinen maaperä näyttääkin lisäävän soistumisalttiutta ja siten alentavan viljavuutta.

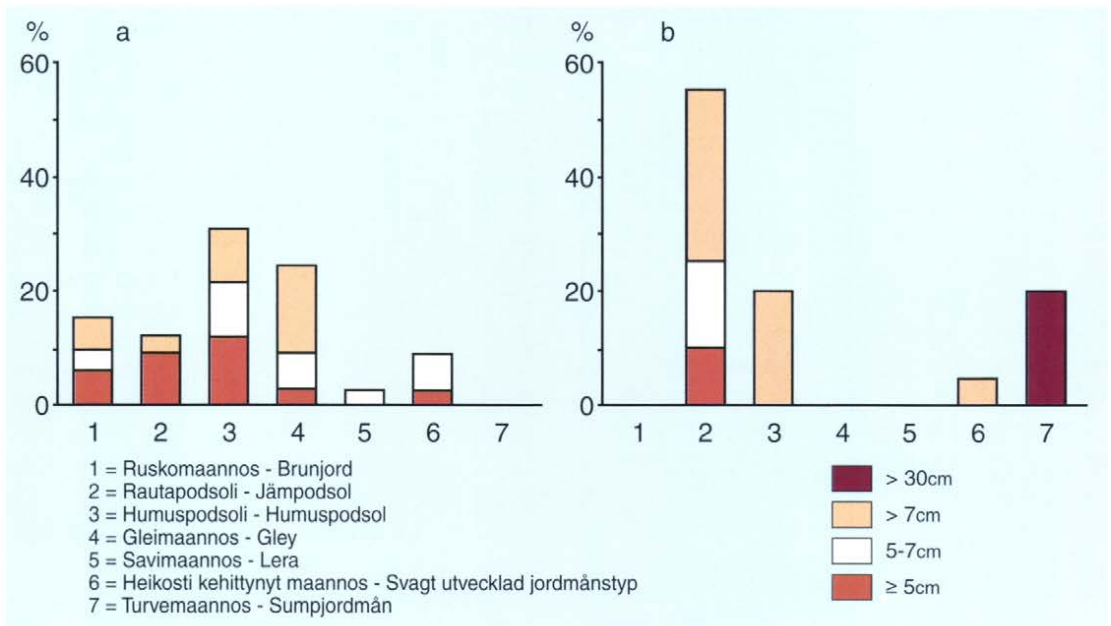
## Humus hapanta ja vähäravinteista vanhoissa metsissä

Pohjamaan kuusikoiden humus- ja kivennäismaakerrosten vesilietoksesta mitatut pH-arvot olivat keskimäärin hieman alhaisempia kuin yleensä Etelä-Suomessa (Tamminen ja Starr 1990) (taulukko 2). Keskiarvoja tarkasteltaessa myös Västerbottenin puolella pH-arvot jäävät Etelä-Suomen vertailuarvojen alapuolelle, etenkin syvemmissä kivennäismaakerroksissa (taulukko 2). Tulosten tulkinta on kuitenkin hankalaa, sillä bariumkloridilietoksesta mitatut pH-arvot eivät eronneet mai-

nittavasti Tammisen ja Starrin (1990) esittämistä tuloksista (taulukko 2). Västerbottenin syvemmissä kivennäiskerroksissa pH-arvot olivat jopa korkeampia kuin Tammisella ja Starrilla (1990).

Monet humuskerroksesta mitatut tunnuksot, jotka kuvaavat kasvupaikan viljavuutta, olivat heikoimmat vanhimman ikäluokan kuusikoissa. Esimerkiksi hyväksi viljavuusindikaattoriksi havaitun humuskerroksen orgaanisen aineksen typpipitoisuuden (Lipas 1985) ja metsikön iän välillä todettiin negatiivinen yhteisvaihtelu (kuvat 40 a ja b). Suomen puolella vanhojen metsien humus oli happaminta: humuksen pH-arvot ja emäkyllästyssaste olivat alhaisimpia ja erityisesti kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet olivat pienimpiä vanhoissa metsissä (kuva 41).

Viime vuosikymmeninä on käyty paljon keskustelua ilman epäpuhtauksien metsämaita happamoittavasta vaikutuksesta. Lounais-Ruotsissa metsämaan happamuuden on todettu paikoin lisääntyneen vuosien 1927–84 välisenä aikana. Yhdeksi syyksi tähän on esitetty juuri ilman epäpuhtauksia (Hallbäcken ja Tamm 1986). Vastaavaa näyttöä Suomesta ei toistaiseksi ole. On ilmeistä, että Me-



**Kuva 39a–b.** Humuskerroksen paksuusluokkien osuudet (%) eri maannostyypeillä Pohjanmaan rannikolla (a) ja Västerbottenin läänissä (b). Tutkittuja kuusikoita oli Suomessa 31 ja Ruotsissa 20 kpl.

**Figur 39a–b.** Humusskiktets fördelning på olika tjockleksklasser (%) för olika jordmånstyper i Österbottnens kustland (a) och i Västerbotten (b). Antalet undersökta granbestånd var 31 i Finland och 20 i Sverige.

**Taulukko 2.** Maaperän vesi- ( $H_2O$ ) ja bariumkloridlietoksesta ( $BaCl_2$ ) mitatut keskimääräiset pH-arvot eri kerroksissa Pohjanmaan rannikon ja Västerbottenin kuusikoissa sekä Etelä-Suomen kangasmailla (Tamminen ja Starr 1990). Suluissa vaihteluväli.

**Tabell 2.** Uppmätta pH-värden (vatten ( $H_2O$ ) och bariumkloridextrakt ( $BaCl_2$ )) på olika djup i mineraljorden i granbestånden i Österbottens kustland och Västerbotten samt i södra Finland (Tamminen och Starr 1990). Variationsbredden inom parents.

Kerros Skikt	pH ( $H_2O$ )			pH ( $BaCl_2$ )		
	Pohjanmaa Österbotten	Västerbotten	Etelä-Suomi Södra Finland	Pohjanmaa Österbotten	Västerbotten	Etelä-Suomi Södra Finland
Humus	3,80 (3,4–4,9)	4,01 (3,6–6,0)	4,17 (3,6–5,8)	2,97 (2,6–3,5)	2,81 (2,3–4,4)	3,15 (2,7–4,1)
0–5 cm	4,12 (3,5–5,5)	4,21 (3,9–5,5)	4,35 (3,6–5,4)	3,43 (2,9–3,8)	3,35 (2,9–4,5)	3,45 (3,0–3,9)
5–0 cm	4,55 (3,8–6,1)	4,48 (4,0–5,6)	4,94 (4,3–5,5)	3,63 (3,1–3,8)	3,85 (3,6–4,7)	3,76 (3,2–4,1)
20–40 cm	4,83 (4,3–5,8)	4,78 (4,5–5,7)	5,25 (4,8–6,6)	3,70 (3,4–3,9)	4,20 (4,0–4,7)	3,76 (3,2–4,2)
60–70 cm		5,00 (4,6–6,1)	5,56 (4,0–7,4)		4,38 (3,8–4,8)	3,76 (3,3–4,3)

bly (Pb), krom (Cr) och nickel (Ni) bestämdes ur totalanalys (förbränning + lösning i saltsyra; Halonen m. fl. 1983). Strontiumhalterna (Sr) i proverna från Västerbotten samt halterna av kalcium, magnesium, kalium, natrium, aluminium, järn, och mangan i proverna från Österbotten mättes även med samma totalanalytmetod. Halterna av fosfor (P) och svavel (S) i de finländska proverna bestämdes med neutrala (pH 7,00) och sura (pH 4,65) ammoniumacetatextrakt samt totalanalys. Det bör poängteras att de svenska och finska markproverna analyserades på olika laboratorier.

## Granbestånden ofta försumgade

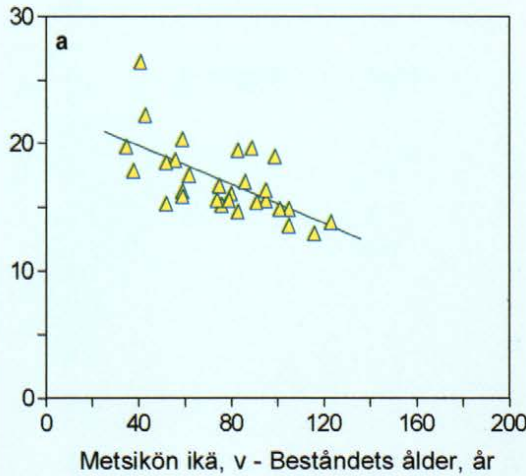
Jordmånstyper som är karakteristiska för fuktiga ståndorter var vanliga bland de undersökta granbestånden. I Österbottens kustområde påträffades humuspodsoler i 32 % och gleyjordmånar i 26 % av bestånden (figur 37a). Dessa jordmånstyper var allmäntast i gamla granbestånd. I Sverige utgjorde humuspodsol och sumpjordmån tillsammans 20 % (figur 37b). Järnpodsoler som är typiska fastmarksjordmånar påträffades i denna undersökning i

hälften av de västerbottniska granbestånden, medan deras andel i Österbottens kustområde var blott 13 %. Appelroth (1948) har framkastat att sänkningen av grundvattennivån (på de unga jordarna) som en följd av landhöjningen så småningom försämrar granbeståndens bördighet. Enligt våra resultat är det emellertid risk för att granbestånden utmed Vasa läns kustland kommer att försumpas.

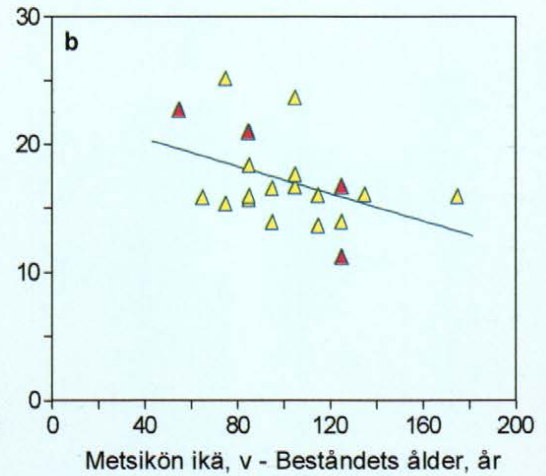
I materialet från Sverige påträffades inga jordmånstyper typiska för bördiga ståndorter, d.v.s. brunjordar eller blekjordsbildande brunjordar. I Finland utgjorde dessa sammanlagt 16 %. Andelen unga jordar med ofullständigt utvecklade jordmånar hos de undersökta granbestånden var 5 % i Västerbotten och 10 % i Österbottens kustland (figur 37a och b).

Den dominerande humustypen på bägge sidorna om Kvarken var mår (figur 38a och b). I de bestånd i Finland där humustypen klassificerades som torv hade skogen oftast hög ålder. Humustäckets tjocklek på fastmark varierade i Finland mellan 2 och 14 cm. I Sverige uppmättes 5–17 cm:s humustjocklek på ståndorterna med humusrespektive järnpodsol. Även om man på grundval av det insamlade materialet inte kunde påvisa

N mg/g o.a. - org. mtrl.



N mg/g o.a. - org. mtrl.



**Kuva 40a–b.** Humuksen typpipitoisuus (mg/g orgaanista ainesta kohden) suhteessa metsikön ikään Pohjanmaan rannikolla (a) ja Västerbottenin läänissä (b). Kuvassa b punaiset kolmiot edustavat Västerbottenin turvemailla olevia havaintokuusikoita.

**Figur 40a–b.** Humusskiktets kvävehalt (i mg/g organiskt material) i förhållande till beståndets ålder i Österbottens kustland (a) och i Västerbotten (b). De röda trianglarna i b-figuren är iakttagelser från granbestånd på torvmark i Västerbotten.

renkurkun alueen metsämaiden happamuus aiheutuu pääosin luontaisista tekijöistä, mm. maankohoamisesta ja puusukupolvesta toiseen jatkuudesta kuusivaltaisuudesta. Kuusikoiden happamoittava vaikutus perustuu kuusen neulaskarikkeen suureen oksaalihappopitoisuuteen (Viro 1955).

## Alunamaat puuttuivat

Rikkipitoiset maat kuuluvat Suomessa ja Ruotsissa Litorinamerivaiheen aikana tai sen jälkeen veteen kerrostuneisiin sedimenttimaihin. Litorinamerivaihe alkoi noin 5000 eKr., jolloin meren rantaviiva oli Pohjanmaalla 90–100 m nykyisen meren pinnan yläpuolella (Okko 1967). Tällä kaudella syntyneet rikkipitoiset maat tunnetaan happamina sulfaattimaina eli alunamaina. Rikki on peräisin meriveden sulfaateista ja meren pohjaan laskeutuneesta kasvi- ja eläinjätteestä. Suurin osa rikistä esiintyy vedenalaisissa sedimenteissä rautasulfideina. Maan kohoamisen myötä nämä sedimentit joutuvat ilman kanssa kosketuksiin, jolloin sulfidi hapettuu sulfaattiksi, mihin näiden maiden nimikin perustuu. Sulfaattimaille on ominaista paitsi korkea rikkipitoisuus, myös alhainen pH, suuri elektrolyyttien

määrä sekä suhteellisen korkea orgaanisen aineksen määrä (Brinkman ja Pons 1973, Kevie 1973, Erviö 1975). Ruotsin puolella alunamaiden pinta-alaa ei ole kartoitettu. Suomessa niitä on Palkon (1994) tekemän inventoinnin mukaan yli 300 000 ha. Suurin osa alunamaista sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla.

Alunamaita ei tavattu Pohjanmaan rannikon havaintokuusikoissa. Niistä mitatut maaperän rikkipitoisuudet eivät olleet Etelä-Suomen kuusikoista saatuihin arvoihin (Tamminen, julkaisematon aineisto) nähden korkeita. Onkin ilmeistä, että alunamaat ovat harvinaisia metsämailla, koska pääosa niistä on raivattu viljelysmaiksi (Palko ym. 1988).

Maaperän bariumkloridiuutoksesta mitatut alumiini- ja rautapitoisuudet olivat korkeammat sekä Pohjanmaalla että Västerbottenin alueella kuin Etelä-Suomen kangasmailla keskimäärin (Tamminen ja Starr 1990) (taulukko 3). Tutkimusalueen kivennäismaista mitatut lyijypitoisuudet olivat alhaisempia ja nikkelpitoisuudet hieman korkeampia kuin Tammisen ja Starrin (1990) ilmoittamat keskiarvot (kuva 42). Muiden raskasmetallien (kupari, sinkki, kadmium, kromi, strontium) pitoisuudet olivat Västerbottenin puolella alhaisempia kuin

någon skillnad i humustäckets tjocklek mellan gamla och unga bestånd var det uppenbart att ackumuleringen av humusförna, d.v.s. långsam nedbrytningen av organiskt material, är ett problem på bägge sidorna av Kvarken. I Österbottens kustland var andelen granbestånd med tjockt humustäcke störst på gleyjordmåner (figur 39a).

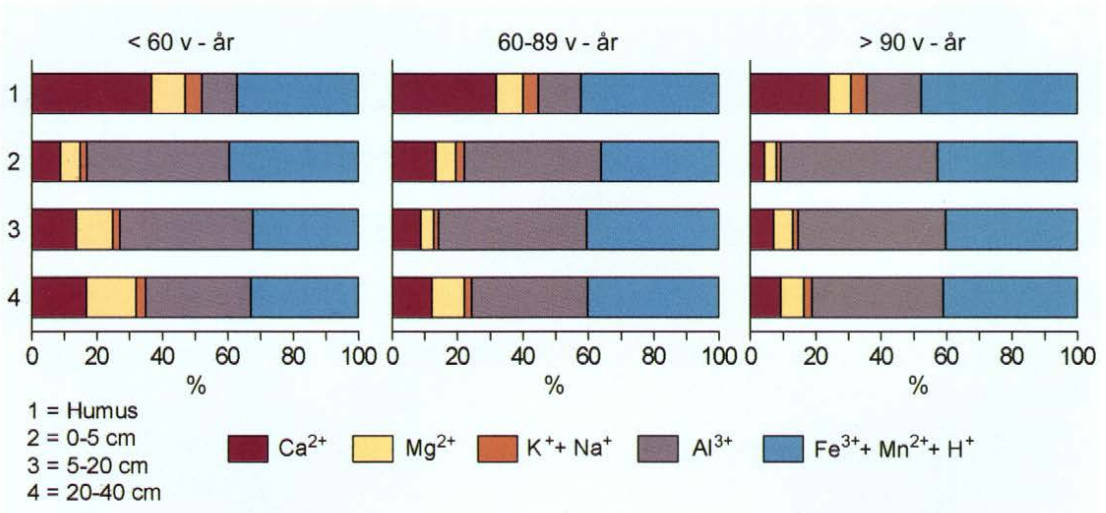
Blockrikedom och stenighet är utmärkande drag för området på den finländska sidan av Kvarkenområdet. Detta beror på att i området förekommer Vasagränit, som är en bergart som lätt vittrar och spricker. Två tredjedelar av de undersökta österbottniska granbestånden var belägna på morän och en tredjedel på sorterade jordarter. I Sverige var de motsvarande förhållandena 45 % morän, 35 % sorterade jordarter och 20 % torv. I Österbottens kustland var de sorterade jordarterna belägna i områdets norra del, medan det uteslutande förekom moräner i den södra delen. Moränerna i Finland bestod i allmänhet av relativt fint material, medelkornstorleken varierade mellan finmo och finsand, medan däremot mineraljordar med fint material var sällsynta i bestånden i Västerbotten. I allmänhet ökar andelen fint material ståndortens bördighet (Viro 1947, 1951, Lipas 1985, Westman 1990). Tamminen (1993) har emellertid konstaterat att produktionen i granbestånden avtar om andelen fint material överstiger 20 %, vilket torde bero på

att markens vattengenomsläpplighet då börjar minska (Lindroos 1991). I Österbotten tycks det också vara fallet att jordmåner med fin textur ofta är förumpade med sämre bördighet som följd.

## Sur och näringsfattig humus i gamla skogar

De pH-värden som uppmättes i humus- och mineraljordsskikten i de österbottniska granbestånden var i allmänhet något lägre än vad som uppmätts i södra Finland (Tamminen och Starr 1990) (tabell 2). Även värdena i Västerbotten var lägre än de i södra Finland, speciellt i de djupaste mineraljordsskikten (tabell 2). Det är emellertid svårt att tolka resultaten eftersom de pH-värden som mätts med bariumkloridsuspension inte skilde sig nämnvärt från de resultat som Tamminen och Starr (1990) presenterat (tabell 2). I det djupaste mineraljordsskiktet i Västerbotten var pH-värdena t.o.m. högre än de motsvarande värdena i Tamminens och Starrs (1990) undersökning.

Ett flertal av de analyserade humus- och mineraljordsparametrar som beskriver ståndortens bördighet var lägre hos granbestånd i de äldre åldersklasserna. Kvävehalten i humusskiktets organiska material, vilken konstaterats vara en god indikator



**Kuva 41.** Maaperän tehoisan kationinvaihtokapasiteetin suhteellinen koostumus eri kerroksissa metsikön ikäluokittain Pohjanmaan kuusikoissa.

**Figur 41.** De effektiva katjonernas relativa fördelning i olika markskikt, fördelat på olika åldersklasser i Österbottens granbestånd.

**Taulukko 3.** Maaperän bariumkloridiuutoksesta ( $BaCl_2$ ) mitatut keskimääräiset alumiini- (Al) ja rauta- (Fe) pitoisuudet eri kerroksissa Pohjanmaan rannikon ja Västerbottenin kuusikoissa sekä Etelä-Suomen kangasmailla (Tamminen ja Starr 1990). Suluissa vaihteluväli.

**Tabell 3.** Uppmätta (bariumkloridextrakt ( $BaCl_2$ )) aluminium- (Al) och järnhalter (Fe) i olika skikt i granbestånd i Österbottens kustland och Västerbotten samt i södra Finland (Tamminen och Starr 1990). Variationsbredden inom parents.

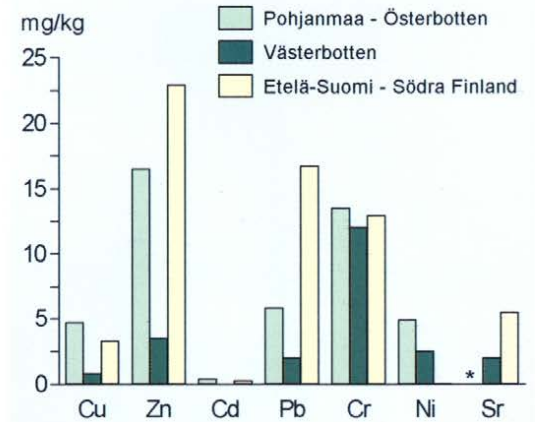
Kerros Skikt	Al mg/kg			Fe mg/kg		
	Pohjanmaa Österbotten	Västerbotten	Etelä-Suomi Södra Finland	Pohjanmaa Österbotten	Västerbotten	Etelä-Suomi Södra Finland
Humus	460 (59-1400)	550 (7-1740)	170 (4-650)	225 (28-630)	297 (3-900)	82 (2-370)
0-5 cm	280 (10-1020)	220 (8-400)	220 (27-840)	72 (4-420)	52 (0-107)	37 (2-300)
5-20 cm	180 (2-900)	215 (8-480)	84 (14-310)	39 (0,3-280)	39 (0,5-84)	9 (0,4-65)
20-40 cm	90 (3-230)	130 (5-360)	35 (1-150)	12 (0,4-34)	27 (0-86)	2 (0-35)
60-70 cm		58 (4-190)	15 (1-140)		6 (0,5-16)	1 (0-22)

Pohjanmaalla ja Etelä-Suomessa (Tamminen ja Starr 1990).

## Korkeita metallipitoisuuksia Suupohjan alueella

Useiden metallien (kalium, kalsium, magnesium, sinkki, natrium, alumiini, kromi ja nikkeli) pitoisuudet olivat Suupohjan alueen kivennäismaissa merkittävästi korkeampia kuin Kokkolan ja Vaasan ympäristössä. Samansuuntainen tulos on tullut esiin myös maaperän geokemiallisissa kartoituksissa (Koljonen ym. 1992). Totaalianalyysissä Suupohjan alue erottui kaikissa kivennäismaakerroksissa, kun taas muissa uutoksissa erot tulivat näkyviin yleensä vasta alimmassa (20–40 cm) kerroksessa.

Sekä happamasta että neutraalista ammonium-asetatiuutoksesta mitatut humuskerroksen fosforipitoisuudet olivat Pohjanmaan rannikolla alhaisempia kuin Etelä-Suomen kuusikoista saadut tulokset (Tamminen, julkaisematon aineisto). Fosforipitoisuudet olivat alhaisimpia Suupohjan alueella. Sen sijaan kivennäismaassa oli keskimäärin enemmän fosforia Pohjanmaan rannikolla kuin Etelä-Suomen kuusikoissa (Tamminen, julkaisematon aineisto).



**Kuva 42.** Keskimääräiset kivennäismaan kupari (Cu), sinkki- (Zn), kadmium- (Cd), lyijy- (Pb), kromi- (Cr), nikkeli- (Ni) ja strontiumpitoisuudet (Sr) kivennäismaan pintakerroksessa Pohjanmaan rannikon ja Västerbottenin kuusikoissa sekä Etelä-Suomen kangasmailla (Tamminen ja Starr 1990). \* = analysoimatta.

**Figur 42.** Medelvärden för halterna av koppar (Cu), zink (Zn), kadmium (Cd), bly (Pb), krom (Cr), nickel (Ni) och strontium (Sr) i mineraljordens ytskikt i granbestånden i Österbottens kustland och Västerbotten samt i fastmark i södra Finland (Tamminen och Starr 1990). \* = ej analyserad.

på bördighet (Lipas 1985), uppvisade ett negativt samband med beståndsåldern (figur 40a och b). I Finland var humusens pH-värden och basmättnadsgrader liksom halterna av kalcium och magnesium lägst i de gamla skogarna (figur 41).

Under de senaste decennierna har luftföroreningarnas försurande inverkan på skogsmarkerna diskuterats. I sydvästra Sverige har man kunnat konstatera att skogsmarken på vissa områden försurats under perioden 1927–84. En orsak till detta har ansetts vara luftföroreningarna (Hallbäcken och Tamm 1986). I Finland har motsvarande fenomen tillsvidare inte kunnat påvisas. Surheten i skogsmarkerna i Kvarkenområdet beror troligen på naturliga faktorer som bl.a. landhöjningen och den långvariga grandominansen som pågått i flera beståndsgenerationer. Granbeståndens försurande effekt beror på att granens barrföna innehåller stora mängder oxalsyra (Viro 1955).

## Alunjordar saknades

De svavelhaltiga jordarna i Finland och Sverige tillhör gruppen marina sediment som bildats under Litorinahavsfasen. Denna fas inleddes ca. 5000 år f. Kr., då kustlinjen gick 90–100 m över den nuvarande havsnivån (Okko 1967). De svavelhaltiga jordarna som uppkom under denna period är kända under benämningen (sura) sulfatjordar eller alunjordar. Svavlet har sitt ursprung i havsvattnets sulfater och i växtrester och lämningar av djur som sjunkit till botten. I sediment som avsatts i vatten uppträder svavlet huvudsakligen i form av järnsulfider. Till följd av landhöjningen kommer sedimenten i kontakt med luften, varvid sulfiden oxideras till sulfat, därav dessa jordars benämning. Förutom den höga svavelhalten karakteriseras sulfatjordarna även av ett lågt pH, ett stort antal elektrolyter samt en relativt hög halt av organiskt material (Brinkman och Pons 1973, Kevie 1973, Erviö 1975). I Sverige har alunjordarnas areal inte fastställts. I Finland uppgår deras areal enligt en inventering utförd av Palko (1994) till 300 000 ha.

Alunjordarna har sin största utbredning i Sydösterbotten.

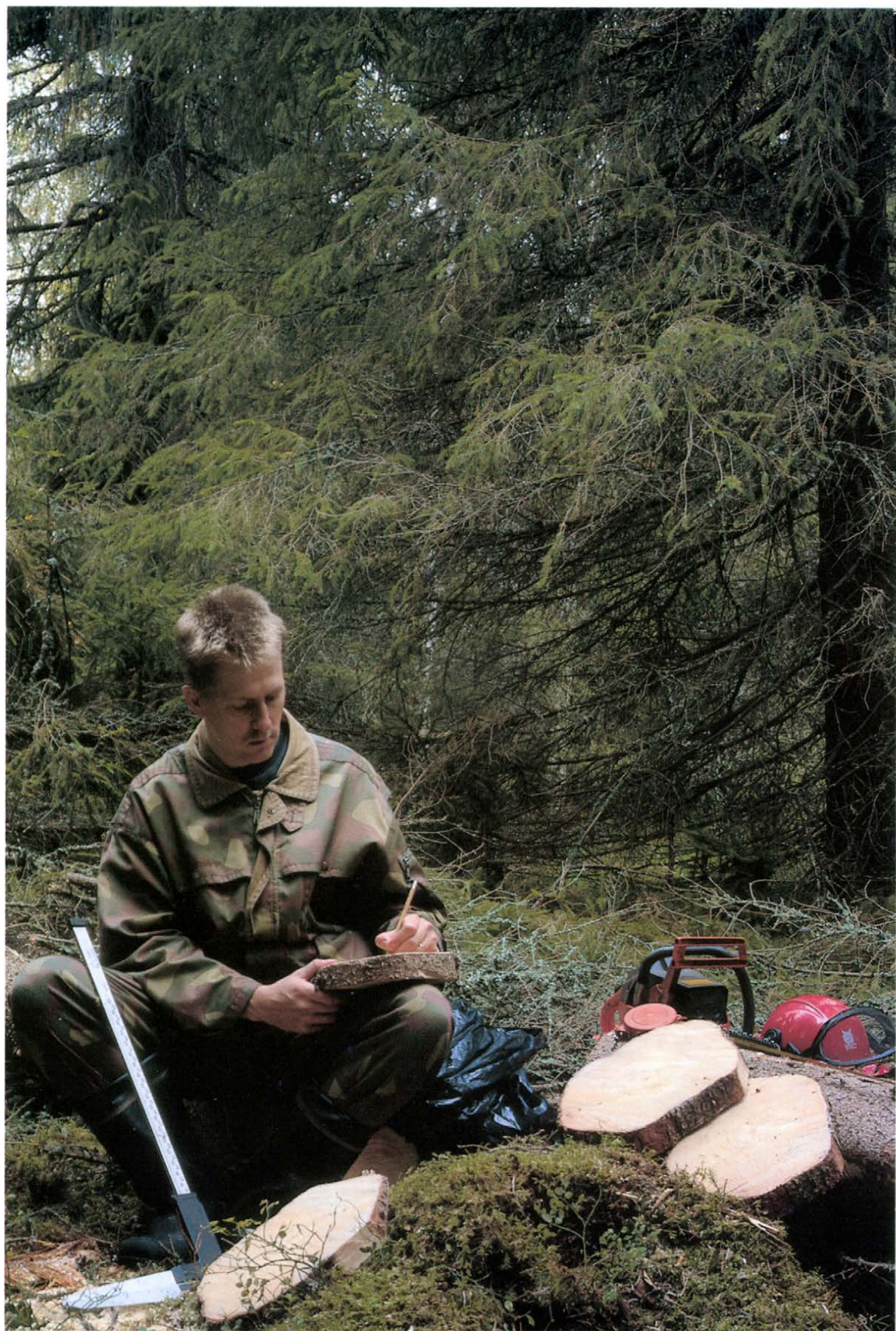
Alunjordar påträffades ej i de undersökta granbestånden i Kvarkenregionen. Svavelhalterna i Österbottens marker var inte högre än halterna i södra Finlands granskogar (Tamminen, opublicerat material). Alunjordar är uppenbarligen sällsynta i skogsmarker, troligen har de flesta röjts till odlingsmark (Palko m.fl. 1988).

Aluminium- och järnhalterna (mätta ur bariumkloridextrakt) var högre i både Österbotten och Västerbotten jämfört med de medelvärden som uppgivits för fastmarkerna i södra Finland (Tamminen och Starr 1990) (tabell 3). I undersökningsområdets mineraljordar var blyhalterna något lägre och nickelhalterna något högre jämfört med de medelvärden som Tamminen och Starr (1990) uppgivit (figur 42). Halterna av övriga analyserade tungmetaller (koppar, zink, kadmium, krom, strontium) var lägre i Västerbotten än i Österbotten och södra Finland (Tamminen och Starr 1990).

## Höga metallhalter i Sydösterbotten

Halterna av flera metaller (kalium, kalcium, magnesium, zink, natrium, aluminium, krom och nickel) var märkbart högre i mineraljordarna i Sydösterbotten jämfört med Gamlakarleby och Vasas omgivning. Uttryckt som halter av totalanalys fann man märkbara skillnader i alla marksikt medan övriga extraheringsmetoder visade skillnaden endast i det djupaste (20–40 cm) skiktet. Liknande resultat har nåtts i en geokemisk kartering av jordmånen (Koljonen m.fl. 1992).

Fosforhalterna i humusskiktet var lägre i Österbottens kustland (mätta både ur sura och neutrala ammoniumacetatextrakt) än i södra Finlands granbestånd (Tamminen, opublicerat material). De lägsta fosforhalterna påträffades i Sydösterbotten. Däremot fanns det i medeltal mera fosfor i mineraljordarna i Österbottens kustland än i granbestånden i södra Finland (Tamminen, opublicerat material).



## KUUSIKOIDEN KASVU GRANSKOGARNAS TILLVÄXT

Kristian Karlsson & Mats Walheim

*Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden kasvua tutkittiin sekä puu- että metsikkötasolla. Pohjanmaan rannikolla kuusikoiden kehitys taantuu hieman voimakkaammin puuston vanhetessa kuin muualla Etelä-Suomessa. Tämä näkyy parhaiten pituuskehityksessä ja syynä lienee maaperän ja paikallisilmaston yhdysvaikutus. Pohjanmaan rannikon kuusikoiden puuntuotoskyky on myös tästä syystä heikempi kuin Keski-Suomessa. Västerbottenin läänin alueella tilanne on päinvastainen: kasvuolot ovat epäedullisemmat sisämaassa kuin rannikolla.*

*Kuusen kasvun taso ei ole muuttunut olennaisesti viimeisen 40–50 vuoden aikana. Kasvun vuotuinen vaihtelu on ollut suurta, mutta tämä johtuu suureksi osaksi kasvutekijöiden, etenkin ilmastotekijöiden vaihtelusta vuodesta toiseen. Kasvunvaihtelu oli hyvin samanlaista Merenkurkun molemmilla puolilla. Kuusen kasvun taso on saattanut pitkän ajan kuluessa parantua; havainnot näistä pitkäaikaisista muutoksista ovat kuitenkin epävarmoja. Viimeaikaiset lämpimät talvet ovat voineet vaikuttaa sekä positiivisesti että negatiivisesti kuusen kasvuun Merenkurkun alueella. Tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut nähtävissä systemaattista muutosta kumpaankaan suuntaan.*

*Granskogarnas tillväxt i Kvarkenregionen har undersökts både på träd- och beståndsnivå. Beståndens utveckling vid Österbottens kust karakteriseras av en något kraftigare stagnation med ökad ålder än vad som är fallet i övriga södra Finland. Detta syns tydligast i höjdutvecklingen och är sannolikt en följd av kombinerad inverkan av mark och lokalklimat. Granbestånden i Österbottens kustland är därför mindre produktiva än granbestånd i mellersta Finland. Förhållandet är det motsatta i Västerbotten där tillväxtförhållandena i de inre delarna av länet är mindre gynnsamma än nära kusten.*

*Granens tillväxtnivå har inte förändrats på något avgörande sätt under de senaste 40–50 åren. Tillväxtens årliga variation har varit stor, men den beror till stor del på variation i tillväxtfaktorena, främst klimatet. Tillväxtvariationen är mycket likartad på bägge sidor om Kvarken. Granens tillväxt kan ha förbättrats under en längre period, men de långtida utvecklingstrenderna är mycket osäkra. De senaste tidernas varma vintrar har kunnat inverka både positivt och negativt på granens tillväxt i Kvarkenregionen. I undersökningen kunde man dock inte se några systematiska förändringar till det bättre eller till det sämre.*

*Kaadeduista koepuista sahattujen kiekkojen avulla saadaan tarkka kuva tutkittavan metsikön tähänastisesta kehityksestä. Kuvassa Yrjö Nuutinen. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Sågade trissor från fällda provträd ger en noggrann bild av det undersökta beståndets tidigare utveckling. På bilden Yrjö Nuutinen. Foto: Erkki Oksanen.*

## Johdanto

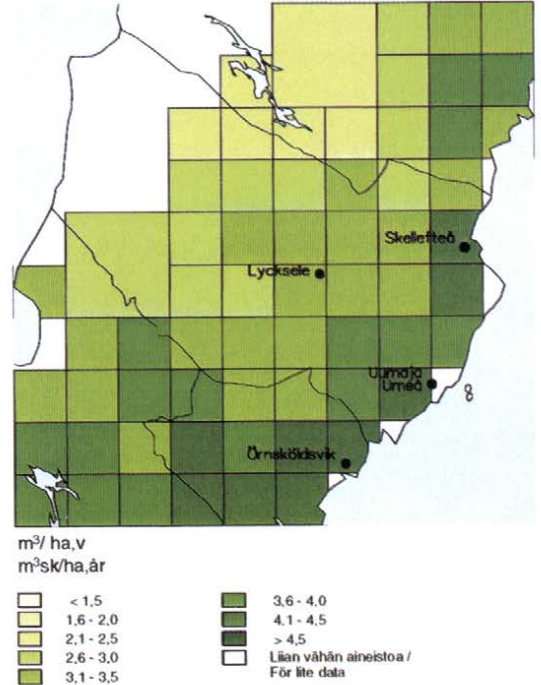
Metsän kasvua säätelevät pääasiassa ilmasto ja maan viljavuus. Lämpötila ja sademäärä vaihtelevat vuodesta toiseen, mikä voi näkyä puiden vuosi- ja vuosienkaista (Johnsson 1969, Fritts 1976). Paitsi nämä lyhytaikaiset vaihtelut myös pitkän ajan trendinomainen ilmastonmuutos voivat vaikuttaa kasvuun (Henttonen 1990). Lämpötila on yksiselitteisesti tärkein ilmastotekijä lähestyttäessä metsänrajaa Suomen ja Ruotsin pohjoisosissa (Mikola 1952, Sirén 1961). Etelään päin mentäessä kuusen kasvun taso riippuu yhä voimakkaammin sademäärästä (Henttonen 1990, Hustich 1981). Maaperätekiöiden vaikutus on monitahoisempi, mutta typen saatavuus määrää pääasiallisesti maan viljavuuden (Kukkola ja Saramäki 1983). Liiallinen vesi ja siitä aiheutuva soistuminen heikentävät joillakin kasvupaikoilla puiden kasvua (Lehto ja Leikola 1987).

Merenkurkun alueen kuusikoiden kasvua tutkittiin 53 havaintometsikössä (kuva 1 sivulla 9). Normaali puustomittauksen lisäksi kairattiin kustakin havaintometsiköistä Ruotsissa viidestä puusta ja Suomessa 15–25 puusta lastu laboratoriomittauksia varten. Mittaamalla puiden vuotuiset sädekasvut kairanlastusta voitiin laskea metsiköiden kasvu pinta-alayksikköä ja vuotta kohti. Pituuskasvut mitattiin kahdesta kaadetusta koepuusta joka toisessa havaintometsikössä Pohjanmaalla.

Västerbottenin läänin alueella sijaitsevien havaintometsiköiden puusto mitattiin ja kasvu laskettiin samalla tavalla kuin Ruotsin valtakunnan metsien inventoinneissa, jolloin saatuja tuloksia voitiin suoraan verrata keskenään. Suomen osalta tuloksia on osin verrattu Pohjanmaan alueelta saatuihin valtakunnan metsien inventointituloksiin ja osin koko Etelä-Suomea edustavaan aineistoon.

## Kasvupaikan puuntuotoskyky

Kasvupaikan tuotoskykyä voidaan arvioida puustosta mitattujen tunnusten avulla (Vuokila 1987). Metsikön paksuimpien puiden keskipituus satavuotiaina on yksi käytetyimmistä kasvupaikan tuotoskyvyn mittareista (Hägglund 1981). Ruotsissa käytetään kahta eri tapaa boniteetin määrittämisessä. Toinen perustuu puiden ikään ja pituuteen kuten Suomessakin (Hägglund 1972), toinen metsikön



**Kuva 43.** Metsämaan tuotoskyky Västerbottenin läänissä ja Örnsköldsvikin kunnassa 1988–92 inventointien mukaan. Kutakin neliötä vastaa vähintään 50 koealaa.

**Figur 43.** Skogsmarkens produktionsförmåga i Västerbottens län och Örnsköldsviks kommun. Grundat på inventeringarna 1988–92. Varje kvadrat motsvaras av minst 50 provtytor.

pintakasvillisuuteen ja kasvupaikkaoloihin (Hägglund ja Lundmark 1977). Kumpaa tapaa sitten käytetäänkin, puuntuotoskyky voidaan ilmaista joko kiertoajan keskituotoksena hehtaaria kohti (boniteetti) tai paksuimpien puiden keskipituutena sadan vuoden iässä (pituusboniteetti).

Ruotsin puolella Merenkurkkua metsämaan tuotoskyky on parhain rannikolla, boniteetti huononee vähitellen tunturialueita kohden (kuva 43). Pohjanmaan rannikolla kangasmaiden puuntuotoskyky on alhaisempi kuin sisämaassa. Karta kuusikoiden pituusboniteetista osoittaa kuitenkin, ettei tuotoskyky alene kovin jyrkästi rannikkoa kohden mentäessä (kuva 44). Tämä johtuu siitä, että runsasravinteisten kasvupaikkojen osuus kasvaa rannikkoa kohden, mikä kompensoi paikallisen ilmaston ja maankohoamisen epäedullisia vaikutuksia. Tuuli

## Inledning

Skogens tillväxt begränsas främst av klimatet och markens bördighet. Temperatur och nederbörd varierar från år till år, vilket direkt kan synas i trädens årsringar (Johnsson 1969, Fritts 1976). Förutom dessa kortvariga variationer kan tillväxten påverkas av långsiktiga, trendartade förändringar i klimatet (Henttonen 1990). I norra Finland och Sverige, och speciellt när man närmar sig skogsgränsen, är temperaturen entydigt den viktigaste klimatfaktorn (Mikola 1952, Sirén 1961). Granskogens tillväxtnivå beror även på tillgången till nederbörd och dess inverkan förstärks när man rör sig söderut (Henttonen 1990, Hustich 1981). Markfaktorens inverkan är mera komplex, men i huvudsak är det kvävetillgången som bestämmer markens bördighet (Kukkola och Saramäki 1983). Överskott på vatten med påföljande försumpning kan på en del ståndorter begränsa tillväxten (Lehto och Leikola 1987).

Granskogens tillväxt granskades i 53 bestånd (figur 1 på sidan 9). Bestånden mättes på normalt sätt och dessutom togs borrhspån för laboratorieanalys från 5 träd per provyta i Sverige och från 15–25 träd per provyta i Finland. Genom att mäta

varje träds tillväxt i borrhspånet kunde uppgifter om tillväxt per hektar och år beräknas. Höjdtillväxten mättes på två fällda provträd per yta på hälften av ytorna i Österbotten.

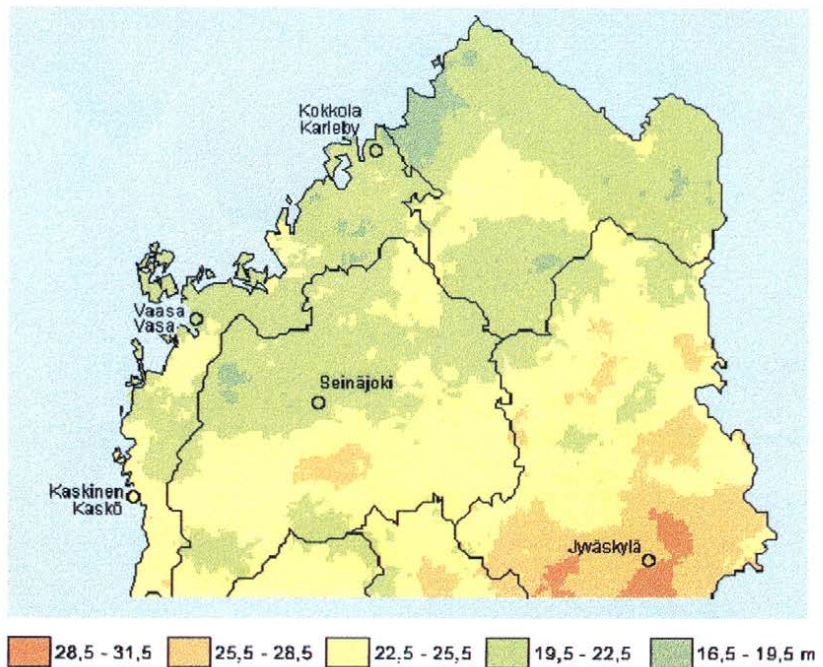
I Västerbotten var metodiken den samma som vid de svenska riksskogstaxeringarna (RT). Därför kunde man göra jämförelser med statistik från deras inventeringar. I de finska undersökningarna har vissa jämförelser gjorts med riksskogstaxeringarnas resultat från Österbotten, men dessutom har man jämfört med material som representerar södra Finland i sin helhet.

## Växtplatsens produktionsförmåga

Växtplatsens produktionsförmåga kan uppskattas med uppgifter från beståndet (Vuokila 1987). De grövsta trädens höjd vid hundra års ålder är en av de mest använda indikatorerna för ståndortens produktionsförmåga (Hägglund 1981). I Sverige har man utarbetat två olika boniteringssystem. Det ena utnyttjar trädens ålder och höjd för att få ett mått på boniteten på samma sätt som i Finland (Hägg-

**Kuva 44.** Pohjanmaan kangasmailla kasvavien kuusikoiden keskimääräinen pituusboniteetti. Tiedot ovat valtakunnan metsien inventoinneista vuosilta 1971–75 ja 1977–83.

**Figur 44.** Granskogens genomsnittliga ståndortsindex på mineralmark i Österbotten. Uppgifterna är från riksskogstaxeringarna år 1971–75 och 1977–83.

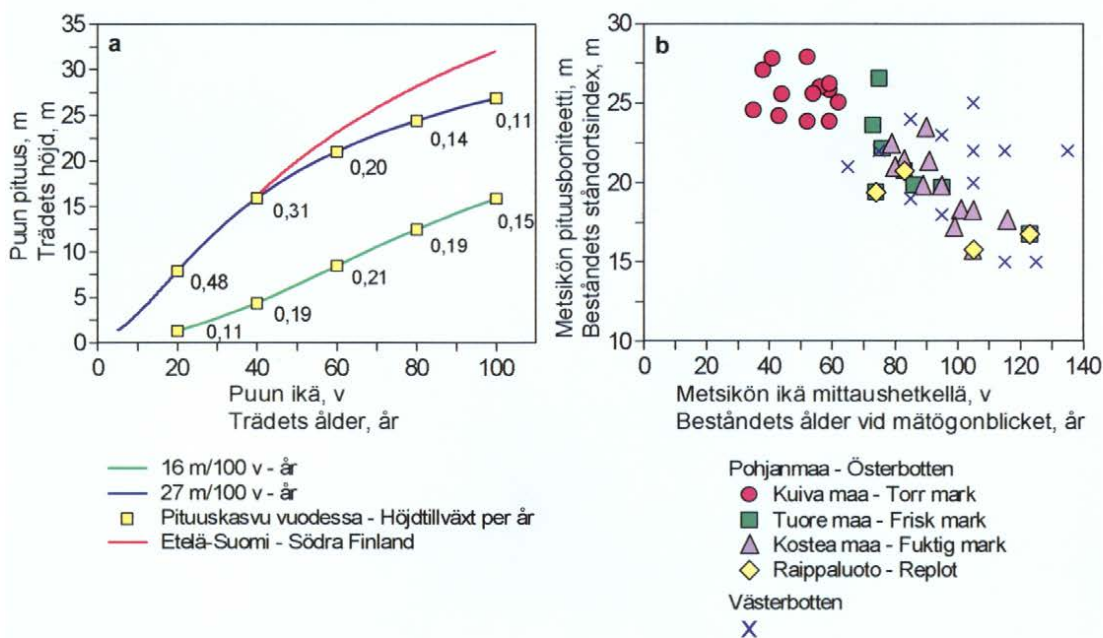


sekä kolea ja kuiva kasvukauden alku vaikuttavat haitallisesti puiden kasvuun rannikolla. Maankohoamisalueen metsämaat ovat usein myös joko poikkeuksellisen kivisiä tai sitten hyvin hienorakeisia ja tiiviitä ja liikkuvaa pohjavettä esiintyy harvoin.

Puiden pituuskehitys tutkituissa kuusikoissa Pohjanmaalla ilmenee kuvasta 45a. Ylempi käyrä on piirretty aineiston parhaan metsikön pohjalta. Sen mukaan rannikon kuuset voivat satavuotiaina saavuttaa 27 m pituuden. Etelä-Suomen kuusikoita koskeva vertailukäyrä näyttää selvästi korkeampia arvoja 40 vuoden iästä lähtien. Kuvasta ilmenee myös vuotuinen pituuskasvu eri kehitysvaiheissa. Sadan vuoden iässä 11–15 cm:n pituuskasvua voidaan pitää hyvänä, vaikkakin eri alueiden metsiköiden suora vertailu on vaikeaa.

Kuvassa 45b esitetään arvioitu pituusboniteetti suhteessa kuusikoiden ikään mittaushetkellä. Ha-

vainnoissa nähdään laskeva suunta, jolloin vanhempien metsiköiden tuotoskyky näyttää huonommalta kuin nuorten metsiköiden. Sinänsä kasvupaikat eivät huonone huomattavasti metsikön ikääntyessä, mutta viljavien maiden metsiköt uudistetaan aikaisemmin. Tästä syystä vanhoja metsiköitä tavataan enemmän kasvupaikoilla, joiden tuotoskyky on huono (nk. todellinen ikätrendi, Tegnhammar 1992). Hakkuumenetelmien muutokset ovat myös vaikuttaneet metsiköiden pituuteen. Aina 1960-luvulle saakka poistettiin hakkuissa metsikön valtapuita. Jäljelle jätetyt lyhyemmät ja kitukasvuiset puut antavat silloin vaikutelman, että tuotoskyky on huonompi kuin se itse asiassa on (nk. näennäinen ikätrendi, Tegnhammar 1992). Näitä tekijöitä ei voida yksiselitteisesti erottaa toisistaan. Vanhempien metsiköiden sijainti tuoreilla tai kosteilla mailla puhuu jossain määrin todellisen ikätrendin puolesta. Näiden metsiköiden alku-

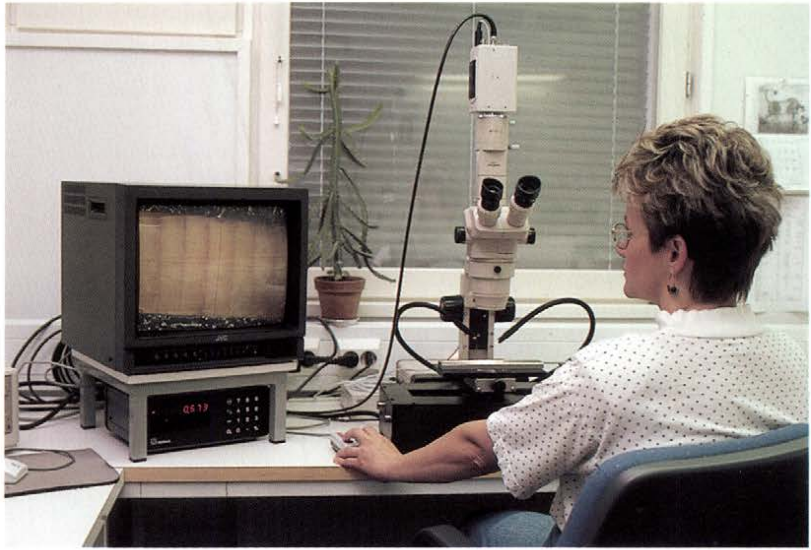


**Kuva 45a–b.** Kuusen pituuskehitys ja pituuskasvu eri kehitysvaiheissa Pohjanmaalla kaadettujen koe-puiden perusteella. Tutkittujen metsiköiden pituusikäyrät kulkevat mallitetun ylimmän ja alimman kehityskäyrän välissä (a). Tutkittujen metsiköiden pituusboniteetti suhteessa mittaussajankohdan ikään (b). Luokittelu tuoreeseen ja kosteaan maahan Pohjanmaan osalta perustuu karhun- ja rahkasammalen esiintymiseen havaintokuusikoissa.

**Figur 45a–b.** Granens höjdtutveckling och höjdtillväxt i olika utvecklingskeden enligt de provträd som fällt i Österbotten. Höjdkurvorna för de undersökta bestånden löper mellan den översta och nedersta utvecklingskurvan som båda är baserade på en modell (a). De undersökta beståndens ståndortsindex i förhållande till åldern vid mätögonblicket (b). Klassificeringen i frisk och fuktig mark i Österbotten grundar sig på förekomsten av björn- och vitmossa på provytorna.

*Laboratoriossa kasvukairalla otetuista lastuista mitataan vuosilustojen leveydet. Kuvassa Reetta Kolppanen. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Årsringsbredden mäts på borkkärnor i laboratorium. På bilden Reetta Kolppanen. Foto: Erkki Oksanen.*



lund 1972). I det andra systemet används markvegetation och ståndortsförhållanden för att erhålla ett mått på boniteten (Hägglund och Lundmark 1977). Oavsett vilket system som används kan produktionsförmågan uttryckas antingen som omloppstidens medelproduktion per hektar och år (bonitet), eller som de grövsta trädens medelhöjd vid 100 års ålder (ståndortsindex).

På den svenska sidan om Kvarken är skogsmarkens produktionsförmåga bäst närmast kusten. Boniteten försämras successivt inemot fjällkanten (figur 43). I det österbottniska kustområdet är mormarkernas produktion lägre än i de inre delarna av Finland. Kartan över granskogens ståndortsindex visar dock inte någon klar nedgång när man närmar sig kustlinjen (figur 44). Detta beror på att andelen näringsrika växtplatser ökar i samma riktning och motverkar ogynnsam inverkan av hav och snabb markhöjning. Vinden och en kylig och torr början på växtperioden är klimatfaktorer som inverkar negativt på trädens tillväxt nära kusten. Inom landhöjningsområdet är skogsmarkerna ofta antingen exceptionellt steniga eller mycket finkorniga och täta, och dessutom saknas rörligt grundvatten.

Figur 45a visar trädens höjdtutveckling i de undersökta bestånden i Österbotten. Den övre kurvan är baserad på det bästa beståndet i undersökningen. Enligt den kan träden nå en höjd på 27 m vid 100 års ålder även i de kustnära områdena. Jämförelsekurvan som gäller bestånd i södra Finland ger ett betydligt större värde utgående från samma

höjd vid 40 års ålder. Figuren visar även den årliga höjdtillväxten i olika utvecklingsskedet. En höjdtillväxt på 11–15 cm vid 100 års ålder kan anses som god tillväxt även om det är vanskligt att direkt jämföra bestånd i olika områden.

I figur 45b visas de uppskattade ståndortsindexen i förhållande till beståndens ålder vid inventeringstillfället. Man ser där en avtagande trend där de äldre beståndens produktionsförmåga framstår som sämre. I och för sig försämras inte ståndorterna märkbart med stigande ålder, men bestånd på bördiga marker avverkas i snabbare takt och som en följd av detta påträffas de äldre bestånden i större utsträckning på ståndorter med lägre produktionsförmåga (s.k. verklig ålderstrend, Teghammar 1992). Förändringarna i avverkningsmetoderna har också inverkat på beståndens höjd. Ända fram till 1960-talet riktades avverkningar i stor utsträckning mot de förhärskande träden i beståndet. De kvarlämnade lägre och mera tvinvuxna träden ger då intrycket att ståndortens produktionsförmåga är sämre än vad den i själva verket är (s.k. skenbar ålderstrend, Teghammar 1992). Dessa inverkanfaktorer kan inte entydigt skiljas åt. Det faktum att de äldre bestånden var belägna på friska eller fuktiga marker talar i någon mån för den verkliga ålderstrenden. Initialutvecklingen har även varit långsam i de här bestånden (figur 45a, nedre kurvan). Granens ungdomsutveckling är alltid långsam på karga marker (Koivisto 1959, Vuokila 1987), men den kan i det här

kehitys on myös ollut hidas (kuva 45a, alempi käyrä). Kuusen nuoruusvaiheen kehitys on aina hidas karuilla kasvupaikoilla (Koivisto 1959, Vuokila 1987), mutta se voi myös johtua puiden kitumisesta ylispuiden alla nuoruusvaiheessa. Tässäkin tapauksessa todellinen boniteetti on parempi kuin puuston nykytilan perusteella voisi päätellä.

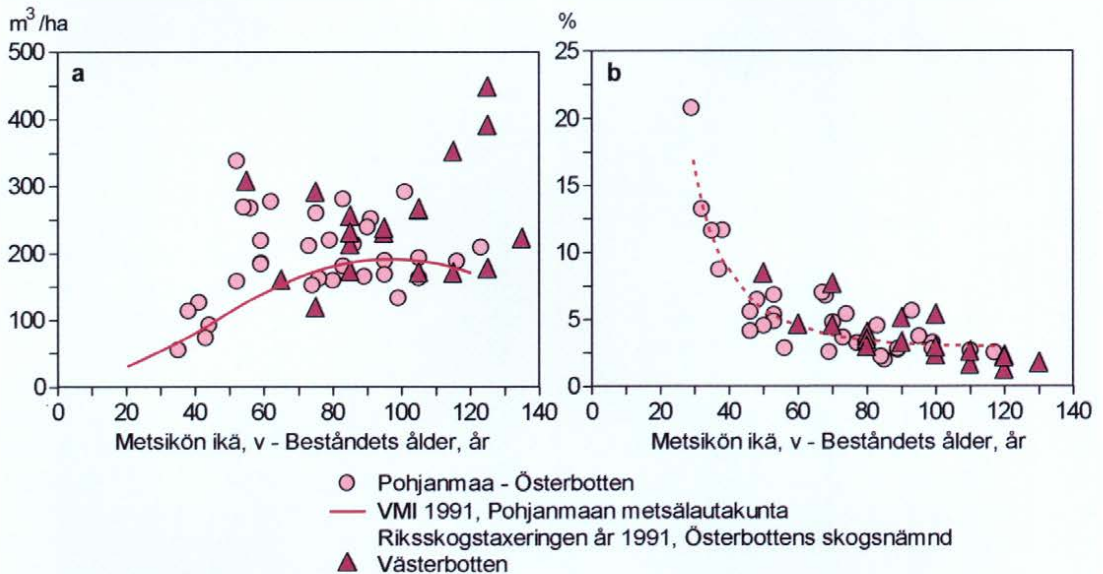
## Runkotilavuus ja tilavuuskasvu

Puuston tilavuuskasvu riippuu sekä puuston määrästä että kasvunopeudesta. Tässä suhteessa tutkittujen kuusikoiden kasvu oli varsin hyvä, koska puuston tilavuus oli suhteellisen suuri. Tutkittujen kuusikoiden tilavuus oli suurempi kuin Pohjanmaan (ruots.) metsälautakunnan kuusikoista valtakunnan metsien 8. inventoinnissa saadut tulokset. Tämä ero ei kuitenkaan tutkimuksen tavoitteet huomioiden ole merkittävä häirtä. Kuvasta 46 ilmenee lähemmin tutkittujen kuusikoiden puuston tilavuus ja tilavuuskasvu. Taulukossa 4 vertailu valtakunnan metsien inventointiaineistoon Västerboteninissa on tarkennettu boniteetin avulla.

## Kasvunvaihtelu

Puiden kasvun taso vaihtelee vuodesta toiseen. Kasvunvaihtelu voi johtua esimerkiksi kasvukauden lämpötilan ja sademäärän vaihtelusta (Fritts 1976). Puiden kasvu muuttuu kuitenkin myös iän myötä ja tästä syystä ei voida suoraan verrata eri vuosien kasvulukuja. Iän vaikutuksen elinoimiseksi laaditaan kasvuindeksejä. Indekseillä ilmaistuna eri vuosien kasvut ovat keskenään vertailukelpoisia ja tarkastelu voidaan ulottaa kauemmas taaksepäin ajassa. Indeksit voidaan laskea monella eri tavalla (Johnsson 1969, Timonen 1977, Cook ja Kairukstis 1990, Henttonen 1990). Tutkimuksen tavoitteista ja aineistosta riippuu, mikä menetelmä soveltuu kulloisessakin tapauksessa parhaiten.

Kuvassa 47 on esitetty tässä tutkimuksessa laadittuja sädekasvun indeksejä. Käytetty menetelmä painottaa lyhytaikaisvaihtelua eli lähekkäisten vuosien kasvun suhteelliset erot tulevat mahdollisimman selvästi ilmi. Pohjanmaan rannikon ja saariston kuusen indeksit seuraavat suurin piirtein kuusen yleistä kasvuindeksiä (kuva 47a). Melko suuria poikkeamia ilmenee kuitenkin useina ly-



**Kuva 46a–b.** Puuston runkotilavuus ( $m^3/ha$ ) (a) ja tilavuuskasvuprosentti (%) (b) suhteessa metsikön ikään.

**Figur 46a–b.** Granbeståndens virkessförråd ( $m^3/ha$ ) (a) och volymtillväxtprocent (%) (b) i förhållande till beståndets ålder.

**Taulukko 4.** Puuston tilavuus ( $m^3/ha$ ) ja tilavuuskasvu ( $m^3/ha, v$ ) Västerbottenin läänissä. Luokittelu läänin osan, boniteetin ja ikäluokan mukaan. Metsiköt, joissa on enemmän kuin 50 % kuusta. Ruotsin valtakunnan metsien inventointi (VMI) 1988–92 ja Merenkurkku-projekti 1993.

**Tabell 4.** Virkesvolym ( $m^3sk/ha$ ) och tillväxt ( $m^3sk/ha, \text{år}$ ) i Västerbotten. Indelning enligt länsdel, bonitet och åldersklass. Bestånd med mer än 50 % gran. Riksskogstaxeringen (RT) 1988–92 och Kvarken-projektet 1993.

	Ikäluokka	Rannikko - Kustlandet				Lappmarken			
		Boniteetti $m^3/ha, v$ - Bonitet $m^3sk/ha, \text{år}$		Bonitet $m^3sk/ha, \text{år}$		Bonitet $m^3sk/ha, \text{år}$		Bonitet $m^3sk/ha, \text{år}$	
		1,0-3,9	$\geq 4,0$	1,0-3,2	$\geq 3,3$	1,0-3,2	$\geq 3,3$	1,0-3,2	$\geq 3,3$
Ålders- klass	VMI	Meren- kurkku	VMI	Meren- kurkku	VMI	Meren- kurkku	VMI	Meren- kurkku	
	RT	Kvarken	RT	Kvarken	RT	Kvarken	RT	Kvarken	
Tilavuus	40-80	120,6	-	167,7	196	85,0	232	124,1	292
Volym	81-110	167,7	223	204,3	232	105,3	-	164,3	-
	111-140	202,4	266	229,6	323	116,4	179	200,2	-
Tilavuus- kasvu	40-80	4,2	-	5,2	10,4	2,8	6,1	4,3	10,9
Tillväxt	81-110	3,9	7,0	4,8	7,6	2,4	-	3,4	-
	111-140	3,6	5,9	4,0	4,6	2,1	2,4	3,6	-

fallet också vara en följd av att träden har hämmats av överståndare i ungdomen. Boniteten är även i detta fall bättre än vad beståndet visar.

## Virkesförråd och volymtillväxt

Beståndets volymtillväxt beror både på virkesförrådet och tillväxthastigheten. De undersökta bestånden var i det här hänseendet entydigt välväxande, eftersom virkesförråden var relativt stora. De undersökta granbeståndens volym är större än resultat från den åttonde riksskogstaxeringen i Österbottens skogs nämnds granbestånd. Med tanke på undersökningens målsättning är den här skillnaden mellan undersökta bestånd och alla bestånd i området inte någon stor brist. Virkesförrådet och tillväxten beskrivs närmare i figur 46. I tabell 4 görs en jämförelse avseende volym och tillväxt mellan riksskogstaxeringen och de undersökta bestånden i Västerbotten så att även boniteten beaktas.

## Tillväxtvariation

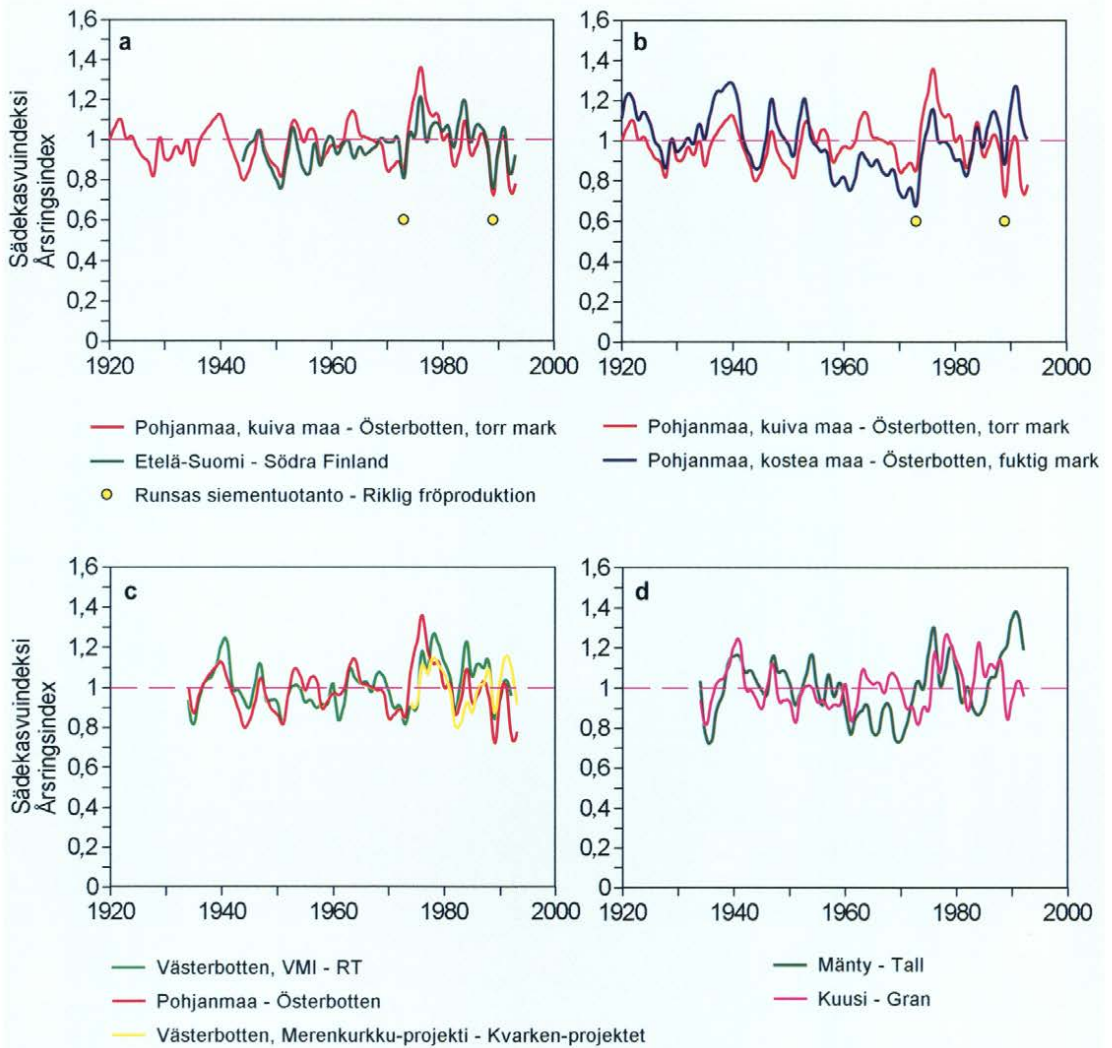
Tillväxtens nivå varierar från år till år. I Sverige

kallas tillväxtnivån för ett visst år för årsmån. Den påverkas bland annat av variationer i växtperiodens temperatur och nederbörd (Fritts 1976). Trädens tillväxt förändras också med stigande ålder och därför kan man inte direkt jämföra absoluta tillväxtsiffror från olika år. För att eliminera ålderns inverkan konstruerar man olika tillväxtindex såsom årsringsindex för radialtillväxtens nivå. Indexen gör tillväxten från olika år jämförbar och granskningarna kan då sträckas längre tillbaka i tiden. Indexen kan beräknas på flera olika sätt och valet av metod beror mycket på undersökningens målsättning och material (Johnsson 1969, Timonen 1977, Cook och Kairukstis 1990, Henttonen 1990).

I figur 47 presenteras de årsringsindex som konstruerats i denna undersökning. Metoderna som använts framhäver kortvarig variation, d.v.s. de relativa skillnaderna mellan närliggande års tillväxt framträder så tydligt som möjligt. Indexen för gran i Österbottens kustområde följer i stort motsvarande index för södra Finland (figur 47a). Rätt stora avvikelser finner man dock under ett flertal kortare perioder från 1950- till 1980-talet. Tillväxtnivån nådde under 1970-talet en högre nivå i Österbotten än i övriga södra Finland. Det högsta värdet var år 1976 då tillväxten var 36 %

hyinä jaksoina 1950-luvulta 1980-luvulle. Kasvu oli 1970-luvulla parempi Pohjanmaalla kuin muualla Etelä-Suomessa. Parhain kasvu saavutettiin vuonna 1976, jolloin se oli 36 % pitkäaikaiskeskiarvon yläpuolella, kun taas vuonna 1989 se oli 28 % normaalia pienempi. Viimeksi mainittu vuosi oli poikkeuksellisen hyvä käpyvuosi. Vastaavasti kasvu heikkeni vuonna 1973, jolloin kuuset kukki-

vat erityisen runsaasti. Puut käyttivät näinä vuosina vähemmän resursseja puuaineksen tuottamiseen ja sädekasvu jäi heikoksi (Leikola ym. 1982, Pukkala 1983). Kahden osa-aineiston vertailu osoitti, että puiden kasvu voi vaihdella eri tavalla saman maantieteellisen alueen eri kasvupaikoilla (kuva 47b). Muutokset vuodesta toiseen olivat hyvin samankaltaiset, mutta ajoittain kasvun taso oli erilainen.



**Kuva 47a–d.** Kuusen sädekasvun vuotuinen vaihtelu ilmastuina indeksillä, jossa normaalitason arvo on 1. (a) Pohjanmaan rannikolla ja Etelä-Suomessa, (b) Erilaisilla kasvupaikoilla Pohjanmaan rannikolla, (c) Pohjanmaan ja Västerbottenin rannikolla. (VMI ja Merenkurkku-projekti), (d) Kuusi ja mänty Västerbottenin rannikolla (VMI).

**Figur 47a–d.** Den årliga variationen i granens radialtillväxt uttryckt med index där normalnivån har värdet 1. (a) I Österbottens kustland och södra Finland, (b) På olika växtplatser i Österbottens kustland, (c) I Österbottens och Västerbottens kustland. (RT och Kvarken-projektet), (d) Gran och tall i Västerbottens kustland (RT).

över det långtida medelvärdet, medan tillväxten var 28 % under normalt år 1989. Detta år var ett exceptionellt gott kottår. På motsvarande sätt minskade tillväxten år 1973 då granen också blommade rikligt. Träden använde då mindre resurser till att bilda ved och radialtillväxten blev därför låg (Leikola m. fl. 1982, Pukkala 1983). En jämförelse mellan två delmaterial visar att trädens tillväxtvariation kan vara olika på olika ståndorter inom samma geografiska område (figur 47b). Den relativa förändringen från ett år till annat var mycket likartad, men tillväxtens nivå skiljde sig under ett flertal olika perioder. Granens årsringsindex var tämligen lika varandra på båda sidor av Kvarken. Skillnaderna var störst under 1970-talet då granens tillväxt var betydligt bättre i Österbotten än i Västerbotten (figur 47c).

Årsmånen för tall och gran skiljer sig från varandra (figur 47d). Granen gynnas i större utsträckning än tallen av fuktiga somrar (Henttonen 1990, Pukkala 1983). Experimentellt har man genom att bevattna ett granbestånd i södra Sverige under flera års tid kunnat öka produktionen med 50 % trots att nederbörden i området var 1200 mm (Nilsson och Wiklund 1992). Tillväxtökningen var stor även jämfört med kvävegödsling (+35 %). Gödselbevattning gav naturligtvis den största tillväxtökningen (+82 %). Det här så kallade Skogabyförsöket är beläget i Halland på den svenska västkusten. I det här sydliga läget är beroendet mellan nederbörd och tillväxt väldigt starkt hos granen. Temperaturen inverkan blir större när man rör sig norrut. Nära trädgränsen saknar nederbörden helt direkt betydelse. Motsvarande bevattning skulle där enbart förorsaka försumpning. Jämfört med båda dessa områden är Kvarkenregionens granskog ett besvärligt forskningsobjekt eftersom både temperatur och nederbörd påverkar tillväxten. Dessutom är vintrarna omväxlande, med varierande snötäcke och tjäldjup, vilket även indirekt kan påverka tillväxten.

Sambandet mellan tillväxten och växtsäsongens temperatur och nederbörd undersöktes med hjälp av årsringsindexen för den österbottniska granen. Med de månatliga medeltemperaturerna och regnmängderna kunde man förklara endast ca 35 % av den årliga variationen i tillväxten under hela perioden 1900–91. Maj månads temperatur var då den faktor som inverkade mest, medan nederbörden

under sommaren inte var någon viktig faktor. När man beaktade även föregående års tillväxt ökade den förutsägelsebara delen av tillväxtvariationen till 47 %. Effekten av tidigare god eller dålig tillväxt utjämnar eller motverkar sålunda i stor utsträckning inverkan av andra faktorer. Efter år 1976 har denna inverkan av tidigare års tillväxt minskat, vilket kan vara ett tecken på förändringar i trädens reaktion på omgivningen.

I tillväxtindexen ser man knappt någon som helst stigande eller sjunkande trend. Att trender saknas är dock en följd av den använda metoden. Ett annat sätt att räkna indexen ger vid handen att tillväxten kan ha förbättrats från och med slutet av 1800-talet (figur 48, linje A). Denna typ av utveckling kan enligt en del forskare i Mellaneuropa vara en följd av drivhuseffekten (Becker 1989, Bert 1992, Briffa 1992). Tidsmässigt sammanfaller tillväxtökningen med den iakttagna förhöjningen i jordens medeltemperatur och atmosfärens koldioxidhalt. Den andra linjen i figur 48 är beräknad utgående från antagandet att de gamla träden växer på sämre ståndorter och tillväxtindexen har avvägts med ståndortsindexen (Jfr. figur 45b). Den stigande trenden blev i detta fall betydligt mindre utpräglad (figur 58, B). Utgående från tillbudsstående material kan man inte slutgiltigt fastställa vilken utveckling som är den riktiga. Även om förhållandena i och för sig förändrats i en positiv riktning är det sannolikt att unga träd reagerar tydligare än gamla. För gamla träd kan också samma förändring innebära en ökad belastning och rentav avtagande tillväxt. Perioden från år 1976 och framåt uppvisar en negativ trend oberoende av vilken metod som används för att göra upp indexen. Trenden är dock helt beroende av dels den höga tillväxtnivån år 1976 och dels den låga tillväxtnivån under kottåret 1989. Perioden är för kort för att man skall kunna se om tillväxten verkligen håller på att bli sämre.

Höjdtillväxten påverkas i ännu större utsträckning än radialtillväxten av förhållandena under föregående växtperiod. Det beror på att de knoppar som sedan växer ut till årsskott bildas i slutet av föregående växtperiod. Det här sambandet framgick tydligt för granens index för höjdtillväxt (figur 49). Höjdtillväxten granskades inte längre tillbaka i tiden på grund av mätningarnas sämre tillförlitlighet. I praktiken var det svårt att urskilja enskilda årsskott trots att granarna fälldes.

Merenkurkun molemmilla puolilla kuusen kasvuindeksit olivat varsin lähellä toisiaan (kuva 47c). Erot olivat suurimmat 1970-luvulla, kun kuusen kasvu oli huomattavasti parempi Pohjanmaalla kuin Västerbottenin läänissä.

Kasvunvaihtelu on erilaista kuusella ja männyllä (kuva 47d). Kuusi hyötyy mäntyä enemmän kosteista kesistä (Henttonen 1990, Pukkala 1983). Etelä-Ruotsissa kuusen kasvua on kokeellisesti kyetty lisäämään 50 % kastelemalla metsikköä, vaikka alueen sademäärä oli peräti 1200 mm vuodessa (Nilsson ja Wiklund 1992). Kastelun vaikutus oli jopa tyypilannoitusta voimakkaampi (+35 %). Lannoitekastelu lisäsi luonnollisesti kasvua eniten (+82 %). Tämä nk. Skogaby-koee sijaitsee Hallandissa Ruotsin länsirannikolla. Tällä alueella kuusen kasvun riippuvuus sademäärästä on varsin suuri, kun taas lämpötilan merkitys kasvaa pohjoiseen päin siirryttäessä. Metsänrajan lähellä sademäärällä ei ole välitöntä vaikutusta kasvuun, siellä vastaava kastelu aiheuttaisi vain soistumista. Mainittuihin alueisiin verrattuna Merenkurkun alueen kuusikot ovat hankalia tutkimuskohteita, koska sekä lämpötila että sademäärä säätelevät puiden kasvua. Lisäksi lumipeitteen paksuus ja roudan syvyys vaihtelevat vuosittain.

Kasvun ja lämpötilan sekä sademäärän välistä yhteyttä tutkittiin Pohjanmaan kuusen kasvuindeksien avulla. Kuukausittaisilla keskilämpötiloilla ja sademäärillä pystyttiin selittämään ainoastaan 35 % kuusen kasvunvaihtelusta ajanjaksona 1900–91. Toukokuun lämpötilalla oli suurin vaikutus, mutta kesän sademäärällä ei ollut sanottavaa vaikutusta. Kasvuvaihtelusta oli ennustettavissa 47 %, kun huomioitiin myös edellisen vuoden kasvu. Aikaisemman hyvän tai huonon kasvun vaikutus tasoittaa tai vähentää muiden tekijöiden vaikutusta. Vuoden 1976 jälkeen edellisen vuoden kasvun vaikutus kuluvan vuoden kasvuun on heikentynyt, mikä voi olla merkinä puiden kasvun ja ympäristötekijöiden välisistä muuttuneista suhteista.

Kasvuindekseissä ei ollut havaittavissa nousevaa eikä laskevaa trendiä. Tämä voi kuitenkin johtua indeksien laskentamenetelmästä. Toisella tavalla lasketuttujen indeksien mukaan kasvu olisi parantunut 1800-luvun lopulta lähtien (kuva 48, viiva A). Joidenkin keskieuropalaisten tutkijoiden mukaan tämänkaltaisen kehitys voisi olla seurausta kasvihuoneilmioista (Becker 1989, Bert 1992, Briffa 1992). Ajallisesti kasvun paraneminen osuu yhteen maapallon keskilämpötilan ja

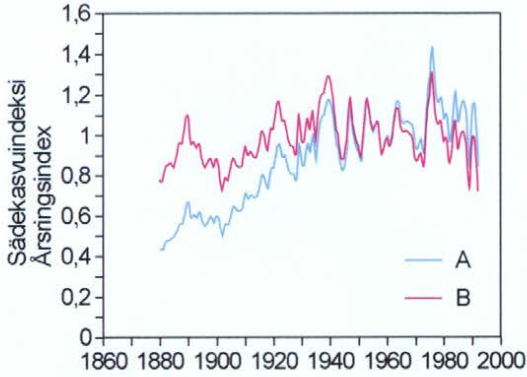
ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun kanssa. Toinen kehityskulku kuvassa 48 perustuu siihen olettamukseen, että vanhat puut kasvavat huonommilla kasvupaikoilla ja kasvuindeksit laskettiin pituusboniteetilla painottaen (vrt. kuva 45b). Nouseva trendi jäi tässä tapauksessa huomattavasti lievemmäksi (kuva 48, viiva B). Aineiston pohjalta ei voida päätellä, mikä on kasvun todellinen kehitys. Vaikka olosuhteet sinänsä ovat parantuneet, on todennäköistä, että nuoret puut ovat reagoineet selvemmin kuin vanhemmat puut muuttuneisiin oloihin. Vanhoille puille sama muutos kasvutekijöissä saattaa merkitä jopa rasiutusta ja näkyä kasvun heikkenemisenä. Vuodesta 1976 lähtien kasvutrendi on negatiivinen kummallakin laadintatavalla määritettynä. Trendi on kuitenkin täysin riippuvainen osin vuoden 1976 korkeasta ja osin käpyvuoden 1989 matalasta kasvun tasosta. Jakso on liian lyhyt, jotta voitaisiin nähdä, onko kasvu todella huononemassa.

Pituuskasvuun vaikuttavat voimakkaammin edellisen kasvukauden olot kuin sädekasvuun, sillä seuraavan vuoden versojen silmut muodostuvat edellisen kasvukauden lopussa. Edellisen vuoden vaikutus näkyi selvästi kuusen vuotuisesta pituuskasvusta laadituissa indekseissä (kuva 49). Pituuskasvua ei tarkasteltu ajallisesti pidemmälle taaksepäin mittausten heikon luotettavuuden vuoksi. Käytännössä vuotuisia pituuskasvuja oli vaikea määrittää tarkasti, vaikka kuuset kaadettiinkin.

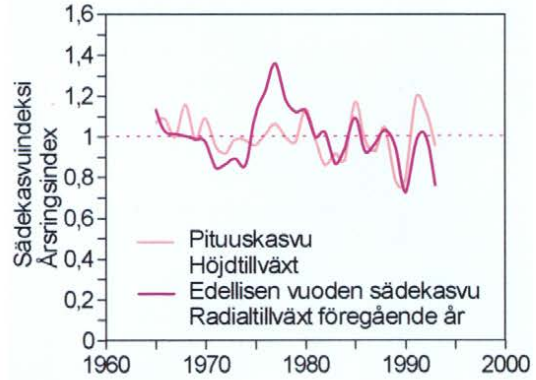
## Tulosten tarkastelu

Kuusikoiden kasvun ja kehityksen vertailu Merenkurkun molemmin puolin on varsin mielenkiintoista, mutta voi toisaalta johtaa virhepäätelmiin, koska Västerbottenin rannikon olot eroavat Pohjanmaan olosuhteista. Västerbottenin alueella maa kohoaa huomattavasti jyrkemmin kuin Suomen puolella ja samalla ilmasto huononee sisämaahan päin mentäessä. Samoin topografia ja maaperä ovat erilaiset. Tiiviit, hienojakoiset maat ja merellinen paikallislamasto ovat kuvaavia Pohjanmaan rannikolle. Myös metsien aiemmassa käsittelyssä voi olla merkittäviä eroja johtuen asutuksen tiheydestä, maanomistussuhteista ja teollisuudesta.

Pohjanmaalla kasvuolot eivät muutu yhtä nopeasti sisämaahan ts. vedenjakajaa kohti mentäessä kuin Västerbottenissa, mutta Pohjanmaan ja Etelä-Suomen sisäosien välinen raja on jyrkkä.



**Kuva 48.** Esimerkki kuusen sädekasvun mahdollisista pitkäaikaismuutoksista. Selitykset tekstissä.  
**Figur 48.** Exempel på möjliga långtida förändringar i granens radialtillväxt. Förklaringar i texten.



**Kuva 49.** Kuusen pituuskasvun ja edellisen vuoden sädekasvun vuotuinen vaihtelu ilmaistuna indeksillä, jossa normaalitason arvo on 1.  
**Figur 49.** Den årliga variationen i granens höjdtillväxt och radialtillväxt föregående år uttryckt med index där normalnivån har värdet 1.

## Granskning av resultaten

Det är frestande att göra jämförelser mellan gran-skogens tillväxt och utveckling i Västerbotten och Österbotten, men risken finns att man drar felaktiga slutsatser. Trots gemensamma drag skiljer sig nämligen förhållandena i Västerbottens kustområde från de österbottniska. Främst då därför att kusten stiger mycket brantare inåt landet i Västerbotten än på den finländska sidan. Klimatet blir tydligt sämre inåt landet där topografi och mark är annorlunda. Täta, finkorniga marker och ett lokalmaritimt klimat är utpräglade för kustområdet i Österbotten. Även i tidigare utnyttjande av skogen kan det finnas stora skillnader beroende på befolkningstäthet, ägoförhållanden och industri.

I Österbotten förändras inte tillväxtförhållandena lika snabbt när man rör sig inåt landet mot vattendelaren som i Västerbotten, men gränsen mellan Österbotten och de inre delarna av södra Finland är skarp. Följaktligen skiljer sig också granskogen i Österbotten i många avseenden från granskog i de inre delarna av södra Finland. Detta är i stor utsträckning en följd av annorlunda mark och klimat. Ståndortens produktionsförmåga är lägre i Österbotten även i sådana fall där till exempel skogstypen är densamma. Den lägre produktionsförmågan framträder i trädens höjdtillväxt. Kustområdets granbestånd har en utveckling som

stagnerar något kraftigare med stigande ålder än vad som är fallet i övriga södra Finland. Beståndens övriga struktur beror även på ståndortens egenskaper, och många av bestånden som undersöktes hade en ojämn struktur med stor spridning i ålders- och diameterfördelning. Tidigare bländningsartade avverkningar har dock påverkat strukturen i gamla granbestånd. Nuvarande unga granbestånd växer tätare med en jämnare struktur och de kommer att utvecklas bättre.

Det är viktigt att urskilja när en viss förändring följer åldern och när den framträder i förhållande till tiden. Med hjälp av de tillväxtuppgifter som kan erhållas från trädens årsringar kan man i någon mån skilja dessa två synvinklar åt. Resultaten visar att det inte har skett några avgörande förändringar i granens tillväxt i Kvarkenområdet under de senaste åren. Beståndens tillväxt och utveckling har däremot förbättrats under det här århundradet. Detta beror troligen främst på förändringar i skogs-skötseln (Elfving m.fl. 1995, Mielikäinen 1995). Tillväxten hos enskilda träd kan även ha blivit bättre under de senaste hundra åren, men dessa analyser är osäkra och orsakerna till utvecklingen oklara. Orsaken kan vara knuten till klimatförändringar och en ökad koldioxidhalt i luften. Nedfallet av kväve har också ökat något under denna period,

Tämän vuoksi Pohjanmaan kuusikot eroavat monessa suhteessa Etelä-Suomen sisäosien kuusikoista. Syynä eroihin on pääosin erilainen maaperä ja ilmasto. Kasvupaikkojen tuotoskyky on Pohjanmaalla heikompi, vaikka metsätyyppi olisikin sama. Tämä ilmenee selvästi puiden pituuskehityksessä. Rannikon ja saariston kuusikoiden kehitys taantuu hieman voimakkaammin puuston vanhetessa kuin muualla Etelä-Suomessa. Myös metsiköiden rakenne riippuu kasvupaikan ominaisuuksista. Monet tutkituista metsiköistä olivat rakenteeltaan epätasaisia, jolloin ikä- ja läpimittahajonta oli suuri. Aikaisemmat harsintahakkuut ovat kuitenkin vaikuttaneet vanhojen kuusikoiden rakenteeseen. Nykyiset nuoret kuusikot ovat tiheämpiä ja tasarakenteisempia ja tulevat kehittymään paremmin.

On tärkeätä erottaa, milloin tietty muutos johtuu puiden iästä ja milloin se aiheutuu muista tekijöistä. Tarkastelemalla puiden vuosilustoista mitattuja kasvuja nämä kaksi seikkaa voidaan jossain määrin erottaa toisistaan. Merenkurkun alueella ei ollut havaittavissa olennaista heikkenemistä kuusen kasvussa viime vuosina. Metsiköiden kasvu ja kehitys on sen sijaan parantunut tämän vuosisadan aikana. Tämä johtunee pääosin muuttuneesta metsänhoidosta (Elfving ym.1995, Mielikäinen 1995). Yksittäisten puiden kasvu on myös voinut parantua viimeisen sadan vuoden aikana. Havainnot tästä ovat epävarmoja ja syyt epäselviä, mutta tämä voi liittyä ilmastomuutokseen ja ilman kohonneeseen hiilidioksidipitoisuuteen. Lannoittava typpilaskeuma on myös lisääntynyt jonkin verran tarkasteltavan jakson aikana. Karuimmilla kasvupaikoilla metsämaan ravinnevarat ovat parantuneet palontorjunnan ansiosta. Yksittäisen tekijän osoittaminen tässä yhteydessä on vaikeata, koska puiden kasvuun vaikuttavat lukuisat eri tekijät.

Kuusen kasvunvaihtelu Pohjanmaalla erosi hieman Etelä-Suomen vastaavasta. Tämä voi johtua siitä, että eri ilmastotekijät rajoittavat kasvua rannikon tuntumassa. Muissa suomalaisissa tutkimuksissa on todettu alkukesän lämpötilan ja kesäheinäkuun sademäärän vaikuttavan kuusen kasvuun (Henttonen 1990, Pukkala 1983). Pohjanmaan rannikolla ja saaristossa lähellä viilentävää merta kasvunvaihtelu saattaa paljolti riippua siitä, miten nopeasti kasvukausi keväällä etenee (Henttonen 1986). Tässä aineistossa korrelaation puuttu-

minen sademäärän ja kasvun väliltä oli hieman yllättävää. Se voi johtua sademäärien paikallisvaihtelusta tarkasteltavan alueen eri osissa. Paikallista vaihtelua on vaikea saada esiin harvassa sijaitsevien meteorologisten mittaussasemien tuloksista. Lyhyet 1–2 viikon pituiset kuivat jaksot voivat myös heikentää kasvua, mutta nämä eivät aina tule esiin kuukausisademäärien perusteella. Lisäksi kuivuus saattaa näkyä kuusen kasvussa vasta useita vuosia altistuksen jälkeen (Spiecker 1995).

Vaikka Merenkurkun alueella yksittäisten kuusten pituuskasvu on heikkoa, ei pituuskasvu ole välttämättä heikentynyt. Kuusikoiden pituuskehitys on seurausta kasvupaikkojen ominaisuuksista ja metsikön käsittelystä. Tietty "pysähtyminen" on luonteenomaista Pohjanmaan rannikon kuusikoiden normaalille kehitykselle. Toinen paljon esillä ollut näkökohta on ilmastomuutos. Viime vuosina osa talvista on ollut hyvin lämpimiä, minkä on katsottu rasittavan kuusia. Lämpimät talvet voivat lisätä puiden haihduttamista ja siten johtaa kuivumiseen (Jalkanen 1994). Tämä on erityisen kiinnostavaa Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden kannalta. Jos lämpimät talvet heikentäisivät kuusen kasvua, niin vaikutusten pitäisi näkyä selvemmin juuri rannikolla. Näin ei kuitenkaan ole tapahtunut tämän aineiston mukaan. Lämpimän talven jälkeen kasvukausi voi myös alkaa aikaisemmin ja edetä nopeammin. Tämä taas vaikuttaisi positiivisesti kuusen kasvuun. Tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut nähtävissä yksiselitteistä muutosta kumpaankaan suuntaan.

Etelä-Ruotsissa laskeuma on suuri ja siellä ilman epäpuhtauksien vaikutus metsiin on pystytty osoittamaan. Siellä tehdyissä kasvututkimuksissa toinen kuusisukupolvi on kasvanut samalla kasvupaikalla paremmin kuin ensimmäinen. Tämä johtuu ympäristömuutoksista, ennen kaikkea runsaasta typpilaskeumasta (Eriksson ja Johansson 1993). Tämä tutkimustulos on yleisestikin kuvaavaa nykyisille kasvututkimuksille. 1980-luvun alun ensimmäiset hälyttävät viestit kasvun heikkenemisestä ovat vaihtuneet raporteiksi, jossa kerrotaan puiden ja metsien kasvun paranemisesta (Spiecker 1995). Merenkurkun alueella ympäristömuutokset ovat olleet toistaiseksi melko pieniä, paikallisia tai sellaisia, että niiden vaikutusta metsien kasvuun on vaikea havaita.

vilket fungerat som en gödsling av skogen. De allra kargaste skogsmarkerna har fått ett förbättrat näringsförråd tack vare brandbekämpningen. Att urskilja en enskild faktor som orsak till en eventuell förändring är svårt eftersom de faktorer som påverkar tillväxten är alltför många och svårtolkade.

Den österbottniska granens tillväxtvariation skiljde sig i någon mån från motsvarande gällande gran i södra Finland. Detta kan vara en följd av att andra klimatfaktorer begränsar tillväxten vid kusten. I andra finländska undersökningar har försommarens temperatur och juni–juli månads nederbörd konstaterats påverka granens tillväxt (Henttonen 1990, Pukkala 1983). I Österbottens kust- och skärgårdsområde, nära det avkylande havet, kan tillväxtvariationen i större utsträckning bero på hur snabbt växtperioden framskrider på våren (Henttonen 1986). Bristen på korrelation mellan nederbörd och tillväxt i det undersökta materialet är något förvånande, men den kan vara en följd av lokal variation i nederbörden i kustområdet. Denna kommer inte fram eftersom de meteorologiska mätstationernas nätverk är glest. Korta 1–2 veckors torrperioder kan även minska tillväxten, men torrperioderna syns inte alltid i de månatliga regnmängderna. Torkan kan dessutom märkas i granens tillväxt först flera år efter det att den ägt rum (Spiecker 1995).

Trots att enstaka träd i Kvarckenregionen har haft låg höjdtillväxt kan man inte säga att höjdtillväxten skulle ha blivit sämre. Granbeståndens höjdtillväxt är en följd av ståndorternas egenskaper och beståndsbehandling. En viss "stagnation" är

utpräglande för granbeståndens normala utveckling i Österbottens kustområde. En annan fråga som varit aktuell gäller förändringen i klimatet. Under de senaste åren har en del vintrar varit mycket varma, vilket har ansetts vara stressande för granen. De varma vintrarna medför ökad respiration och risk för uttorkning (Jalkanen 1994). Denna diskussion är speciellt intressant med tanke på granen i området runt Kvarcken. Om de varma vintrarna skulle inverka negativt så borde verkningarna synas tydligast i kustområdet, men detta är åtminstone ännu inte fallet. Efter en varm vinter kan växtperioden även börja tidigare och framskrida snabbare. Detta skulle inverka positivt på granens tillväxtnivå. I undersökningen kunde man dock inte hitta några entydiga förändringar till det bättre eller till det sämre.

I södra Sverige är depositionen av luftföroreningar stor och man har kunnat påvisa inverkan på skogen. Där har andra generationens granbestånd i produktionsundersökningar vuxit bättre än den första på en och samma ståndort. Det här beror på förändringar i miljön och närmast då på stort kvävenedfall (Eriksson och Johansson 1993). Slutledningen är utpräglande för dagens tillväxtundersökningar. De första larmsignalerna om tillväxtnedgång från 1980-talets början har förbytt i rapporter om tillväxtökningar gällande både träd och bestånd (Spiecker 1995). I Kvarckenregionen har förändringarna i miljön hittills varit små, lokala eller sådana vars effekt på skogens tillväxt ännu är svåra att urskilja.



# KUUSIKOIDEN RAVINNETILA GRANSKOGARNAS NÄRINGSTILLSTÅND

Päivi Merilä, Hannu Raitio & Mats Walheim

*Merenkurkun alueen kuusikot kärsivät etenkin typen ja fosforin puutteesta, joka on voimakkaampaa Västerbottenin kuin Vaasan läänin rannikolla. Poikkeuksen muodostavat Ruotsin puolen turvemaiden kuusikot, jotka todennäköisesti kärsivät kaliumin puutteesta. Typen puutos ilmeni Suomen puolella voimakkaimmillaan Suupohjan alueella ja Raippaluodossa, Suupohjan alueella myös fosforipitoisuudet olivat alhaisia. Neulasten kuparipitoisuudet olivat kaikkialla Vaasan läänin rannikolla erittäin alhaiset. Vanhoissa metsiköissä neulasten typpi- ja kuparipitoisuudet olivat alhaisempia sekä booripitoisuudet korkeampia kuin nuoremmissa metsiköissä. Rikkipitoisuudet olivat molemmissa neulasvuosikerroissa korkeampia Vaasan läänin kuin Västerbottenin rannikolla. Vaasan läänin rannikolla neulasten rikkipitoisuudet olivat kuitenkin keskimääräistä eteläsuomalaista tasoa.*

*Granskogarna i Kvarkenregionen lider framför allt av brist på kväve och fosfor. Detta är särskilt tydligt i Västerbottens kustland. Ett undantag utgör granbestånd på torvmark på den svenska sidan, där kaliumbrist sannolikt föreligger istället. Kvävebristen syns på den finska sidan starkast i Sydösterbotten och på Replot. I Sydösterbotten var även fosforhalterna låga. Kopparhalterna var låga överallt i Vasa läns kustland. I gamla granbestånd var barrrens kväve- och kopparhalter lägre och borhalter högre än i yngre bestånd. Svavelhalterna i de båda undersökta barrångarna var högre i Vasa läns kustområde än i Västerbotten, men ändå på samma nivå som svavelhalterna i södra Finland.*

**CHN-analysaattorilla** kuivatusta neulasjauheesta määritetään hiili-, vety- ja typpipitoisuus. Kuvassa Kari Honka. Kuva: Erkki Oksanen.

**CHN-analysatorn** används för att bestämma kol-, väte- och kvävehalt i torkade och malda barr. På bilden Kari Honka. Foto: Erkki Oksanen.

## Johdanto

Neulas- ja lehtianalyysiä voidaan käyttää apuna tutkittaessa puiden ravinnetilaa (van der Burg 1985, Raitio 1994) ja ilman epäpuhtauksien leviämistä sekä niiden vaikutuksia puustoon (Huttunen ym. 1985, Dmuchowski ja Bytnerowicz 1995, Innes 1995, Raitio ym. 1995). Tulosten tulkinta perustuu tavallisesti ohjearvoihin, jotka perustuvat pitkäaikaiseen kokemukseen sekä kenttä- ja laboratoriokokeisiin (Ahrens 1964, Morrison 1974, Jukka 1988). Neulasten kemialliseen koostumukseen vaikuttavat kuitenkin monet eri tekijät, jotka on huomioitava sekä näytteitä kerätessä että tulosten tulkinnassa (Raitio 1991).

Kasvien normaali kasvu ja kehitys edellyttävät toisaalta riittävää ravinteiden saatavuutta ja toisaalta oikeita ravinnesuhteita. Tästä syystä muiden ravinteiden pitoisuuksia usein tarkastellaan suhteessa typpipitoisuuksiin (Ingestad 1979, Linder 1995). Tällöin voidaan tarkemmin nähdä, kärsivätkö kasvit muiden ravinteiden puutteesta tai ylimäärästä suhteessa tyypeen.

Uusimmissa tutkimuksissa on tarkasteltu kasvien ravinnetilaa perinteisten neulasanalyysien ohella biokemiallisin menetelmin, esim. analysoimalla polyamiineja (Sarjala ja Kaunisto 1993) ja vapaita aminohappoja (Ericsson ym. 1993). Näiden menetelmien on havaittu kuvaavan herkemmin puiden ravinnetasapainon häiriöitä kuin perinteisten epäorgaanisten analyysien.

Merenkurkun rannikon ja saariston kaikista havaintokuusikoista neulasnäytteet kemiallisia analyysejä varten kerättiin nuorimmasta (C) ja niitä vuotta vanhemmasta (C+1) neulasvuosikerrasta Suomen puolelta vuonna 1992 ja Ruotsin puolelta vuosina 1992 ja 1993. Vuonna 1993 Suomen puolelta kerättiin näytteet vain 12 kuusikosta, kun niitä oli kaikkiaan 33. Ruotsin puolella havaintokuusikoita oli 20, joista neljä turvemaidella. Kustakin kuusikosta kerättiin puukohtaiset näytteet kymmenestä (Suomi) tai kuudesta (Ruotsi) valta- tai lisävalta-puusta. Näyteokset otettiin latvuksen ylimmästä kolmanneksesta, etelän puolelta. Näytteet esikäsiteltiin (neulasvuosikertojen erottelu, kuivaus ja jauhatus) puu- ja neulasvuosikertakohtaisesti. Analysoitavat kuusikkokohtaiset kokoomanäytteet muodostettiin neulasvuosikerroittain punnitsemalla yhtä suuri neulasmassa kunkin näytepuun jauheesta neulasmassasta. Näytteistä analysoitiin seu-

raavien alkuaineiden kokonaispitoisuudet: typi (N), fosfori (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), rikki (S), rauta (Fe), sinkki (Zn), mangaani (Mn), alumiini (Al), natrium (Na), kadmium (Cd), nikkeli (Ni), kromi (Cr) ja lyijy (Pb). Suomalaisista näytteistä analysoitiin lisäksi boori (B) ja kuparipitoisuudet (Cu). Neulasten arginiini-pitoisuudet analysoitiin vain Ruotsin puolelta kerätyistä näytteistä.

Västerbottenin neulasnäytteet analysoitiin Ruotsin maatalousyliopistossa Uumajassa ja Suomen näytteet Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusasemalla. Tulosten vertailukelpoisuuden testaamiseksi analysoitiin kymmenen yhteistä neulasnäytettä sekä Ruotsissa että Suomessa.

## Tulokset vertailukelpoisia

Laboratoriovertailu, jossa samat kymmenen neulasnäytettä analysoitiin sekä Uumajassa että Parkanossa, osoitti tulosten poikkeavan tilastollisesti merkittävästi ainoastaan raudan, sinkin ja natriumin osalta. Vaikka typpipitoisuuksien väliset erot eivät olleet tilastollisia, olivat ruotsalaisen laboratorion saamat tulokset keskimäärin 6 % alemmat kuin suomalaisen. Käytännössä näillä eroilla ei ole suurta merkitystä arvioitaessa puiden typpitilaa. Vastaavat kansainväliset vertailut ovat osoittaneet, että eri laboratorioden tulokset samoistakin näytteistä voivat vaihdella huomattavasti. Yleensä vertailukelpoisimmat tulokset on saavutettu typen ja rikin osalta (Will 1986, Jarva ja Tervahauta 1989).

## Pääravinteista niukkuutta

Neulasten ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat monet eri tekijät, esimerkiksi lämpösumman ja sademäärän vuotuinen vaihtelu (Raitio 1994). Tutkittu aineistossa vuosien 1992 ja 1993 väliset erot ravinnepitoisuuksissa olivat Ruotsin puolella suuremmat kuin Suomen puolella. Kuusen neulasten ravinnepitoisuudet Västerbottenin rannikolla olivat yleensä korkeampia vuonna 1993 kuin 1992. Erot olivat selvemmin havaittavissa vanhoissa (C+1) kuin nuorissa (C) neulasissa.

Analyysitulosten mukaan kuuset kärsivät typen

## Inledning

Barr- och lövanalyser kan användas, när man undersöker trädens näringsstillstånd (van der Burg 1985, Raitio 1994) och luftföroreningarnas spridning samt deras verkningar på trädbeståndet (Huttunen m.fl. 1985, Dmuchowski och Bytnerowicz 1995, Innes 1995, Raitio m.fl. 1995). De uppmätta halterna jämförs med kritiska gränsvärden, vilka baserar sig på långvarig erfarenhet samt fält- och laboratorieförsök (Ahrens 1964, Morrison 1974, Jukka 1988). Barrrens kemiska sammansättning påverkas dock av flera olika faktorer, vilka man måste ta hänsyn till både när proven insamlas och när resultaten tolkas (Raitio 1991).

Att växterna växer och utvecklar sig normalt förutsätter en tillräcklig tillgång till näringsämnen, samt balans mellan olika näringsämnen. Av den anledningen granskas halterna av de övriga näringsämnena ofta i förhållande till kvävehalten (Ingestad 1979, Linder 1995). Därvid kan man lättare se om växterna lider av brist på eller har överskott av de övriga näringsämnena i relation till kvävet.

Nu mera brukar växternas näringsstillstånd även granskas med biokemiska metoder, t.ex. genom att analysera polyaminer (Sarjala och Kaunisto 1993) och fria aminosyror (Ericsson m.fl. 1993). Dessa metoder visar tydligare störningar i trädens näringsbalans än vad fallet är med de traditionella oorganiska analyserna.

Barrprov insamlades för kemiska analyser från den yngsta (C) och ett år äldre (C+1) barrrånghången. Insamlingen genomfördes på den finska sidan år 1992 och på den svenska 1992 och 1993. År 1993 samlades på den finska sidan prov i bara 12 granbestånd av de totala 33. På den svenska sidan fanns det 20 provtytor varav 4 på torvmark. På varje provtyta samlades trädvisa prov från tio härskande eller medhärskande träd. Provkvistarna togs från trädkronans översta tredjedel, från sydsidan. Proven förbehandlades (barrrånghången skildes från varandra, torkades och maldes) träd- och barrrånghångenvis. De blandprov som sedan analyserades bildades barrrånghångenvis genom att väga en lika stor barrmassa från varje provträds malda barrmassa. Barrproven analyserades på totalhalter av följande grundämnen: kväve (N), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg), svavel (S), järn (Fe), zink (Zn), mangan (Mn), aluminium (Al),

natrium (Na), kadmium (Cd), nickel (Ni), krom (Cr) och bly (Pb). De finska proven analyserades dessutom på bor- (B) och kopparhalterna (Cu). Barrrens argininhalter bestämdes endast på den svenska sidan.

Barrproven från Västerbottens län analyserades av miljöforskningslaboratoriet vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå och proven från Finland vid Skogsforskningsinstitutets forskningsstation i Parkano. För att kontrollera att resultaten är jämförbara analyserades 10 gemensamma prov i både Sverige och Finland....

## Resultaten kan jämföras

En jämförelse mellan laboratorier, i vilket ingick att samma 10 barrprov analyserades både i Umeå och i Parkano, visade att resultaten avvek statistiskt markant från varandra endast i fråga om järn, zink



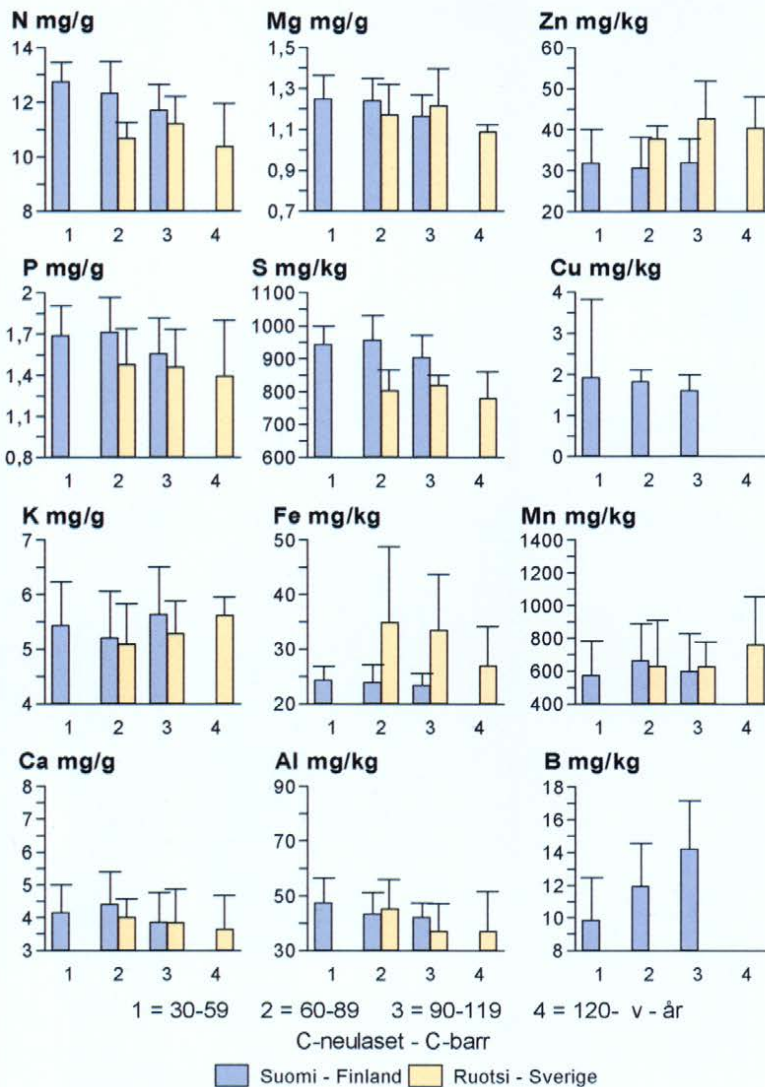
*Vanhimpien neulasten enneaikainen kellastuminen ja variseminen ilmentävät ravinnepuutoksia. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Gula barr och förtidig barrfällning kan vara ett tecken på näringsbrist. Foto: Erkki Oksanen.*

ja fosforin puutteesta. Näiden ravinteiden, etenkin typen puutos oli voimakkaampaa Västerbottenin kuin Vaasan läänin rannikolla (kuva 50). Nuorimman neulasvuosikerran mukaan typen puutosraja, 12,4 mg/g (Jukka 1988), alittui Västerbottenin puolella lähes kaikissa kivennäismaiden havaintokuusikoissa (94 %), kun Vaasan läänin rannikolla typen puutosta ilmeni ainoastaan kolmanneksella tutkituista kuusikoista. Typen puutos ilmeni voimakkaimmillaan Suupohjan alueella ja Raippaluodossa (kuva 52). Puolella Ruotsin kuusikoista nuorimpien neulasten fosforipitoisuus jäi puutosrajan, 1,4 mg/g (Jukka 1988), alapuolelle, Vaasan läänin rannikolla vain 9 %:lla havaintokuusikoista

(kuva 50). Tosin fosforilannoituskokeet vastaavilla kasvupaikoilla Ruotsissa eivät ole aiheuttaneet kasvun lisäystä, mikä siten ei puolla käsitystä fosforipuutoksesta.

Kun havupuilla on niukkuutta nk. liikkuvista ravinteista (N, P, K, Mg), siirtyy näitä ravinteita vanhemmista neulasista uusiin kasvaviin neulasiin. Tästä syystä liikkuvien ravinteiden puutos on helpommin todettavissa analysoimalla vanhempia neulasvuosikertoja. Tämän mukaan fosforin puutosta ilmeni Ruotsissa 63 %:lla ja Suomessa 39 %:lla tutkituista kuusikoista (kuva 51). Pohjanmaan rannikolla neulasten fosforipitoisuudet olivat alhaisimmillaan Suupohjan alueella (kuva 53). Sen



**Kuva 50.** Nuorimpien (C) neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet Merenkurkun alueella vuonna 1992 eri-ikäisissä kuusikoissa. Jana pylvään päällä kuvaa keskiahajontaa.

**Figur 50.** Genomsnittliga grundämneshalter i de yngsta (C) barren inom Kvarkenregionen år 1992, fördelat på olika beståndsålder. Sträckan ovanför pelaren betecknar standardavvikelsen.

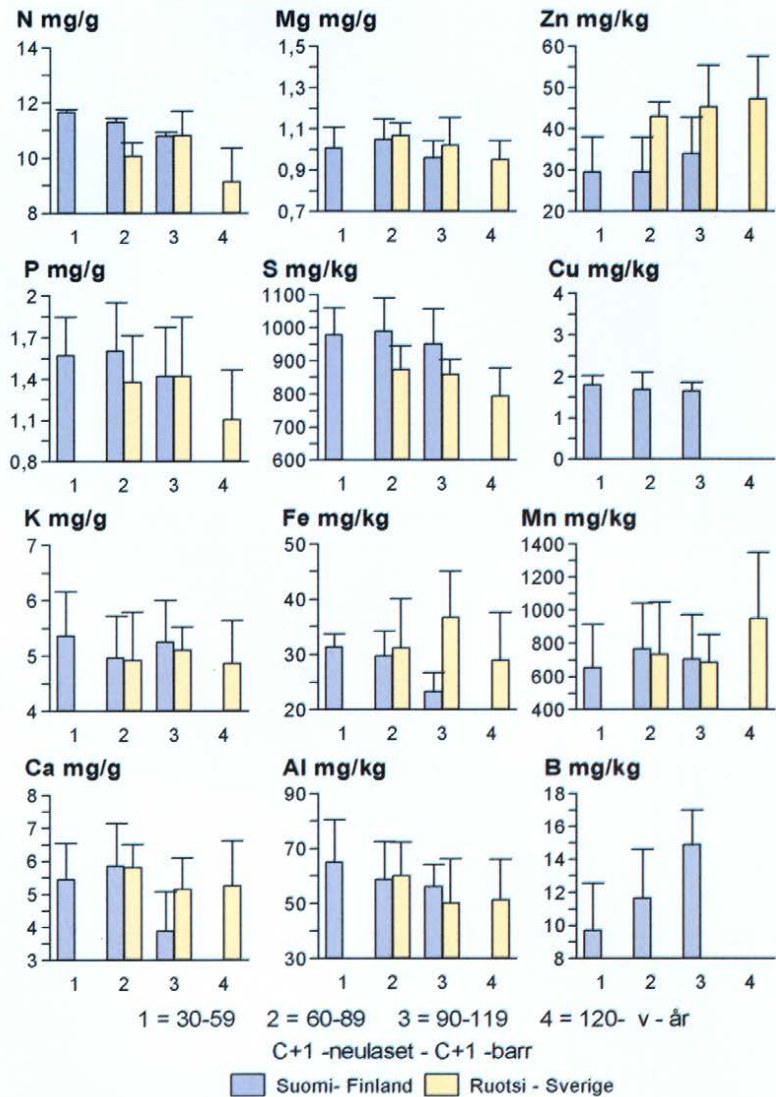
och kväve. Kvävehalten var från det svenska laboratoriet i medeltal 6 % lägre än från det finska. I praktiken har dessa skillnader ingen stor betydelse när det gäller att uppskatta trädens kvävetillstånd. Liknande internationella jämförelser har påvisat att resultaten av olika laboratorier ur t.o.m. samma prov kan variera rätt märkbart. Det tycks vara lättast att få jämförbara resultat för kväve och svavel (Will 1986, Jarva och Tervahauta 1989).

## Låga halter av huvudnäringsämnen

Näringsämneshalten i barr påverkas av flera olika

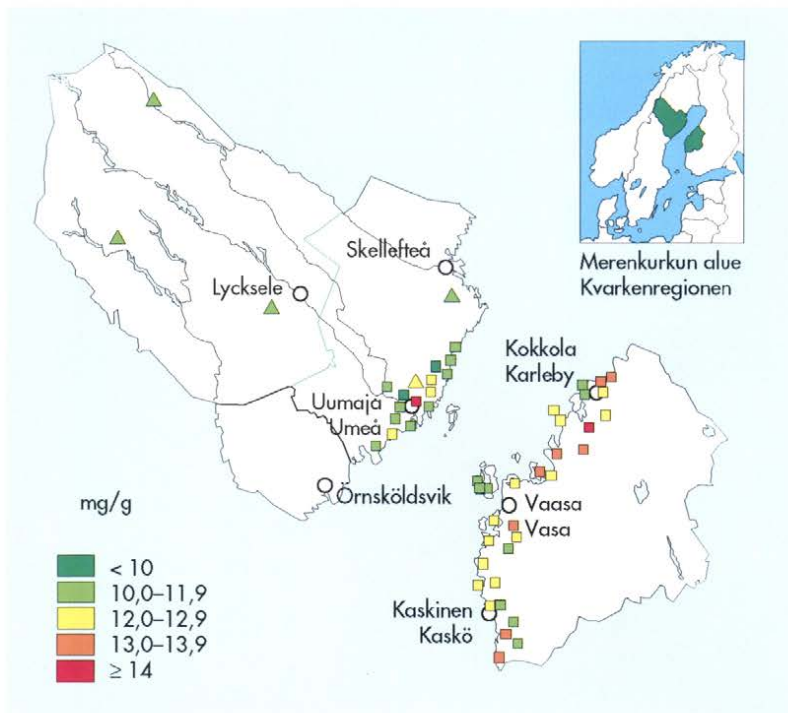
faktorer, t.ex. skillnaderna i värmesumma och nederbörd mellan olika år (Raitio 1994). I det undersökta materialet avvek näringsämneshalten i barr av år 1992 från dem av år 1993 i större grad på den svenska sidan än på den finska. Granbarrens näringsämneshalter var i Västerbottens kustområde i allmänhet högre år 1993 än år 1992. Skillnaderna kunde observeras tydligare hos de äldsta (C+1) barren än hos de yngsta (C).

Enligt analysresultaten led granarna framför allt av brist på kväve och fosfor. Bristen på dessa näringsämnen, i synnerhet bristen på kväve, var större i Västerbottens kustland än i Vasa läns kustområde (figur 50). Enligt den yngsta barrårgången



**Kuva 51.** Kaksivuotisten (C+1) neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet Merenkurkun alueella vuonna 1992 eri-ikäisissä kuusikoissa. Jana pylvään päällä kuvaa keskihajontaa.

**Figur 51.** Genomsnittliga grundämneshalter i de tvååriga barren (C+1) inom Kvarkenregionen år 1992, fördelat på olika beståndsålder. Sträckan ovanför pelaren betecknar standardavvikelsen.



**Kuva 52.** Kuusen nuorimpien (C) neulasten typpipitoisuuksien alueellinen jakautuminen Merenkurkun alueella vuonna 1992.

**Figur 52.** Den regionala fördelningen av kvävehalter i granens yngsta (C) barr inom Kvarkenregionen år 1992.

sijaan typen puutos ilmeni kaikissa Ruotsin puolen kangasmaiden havaintokuusikoissa, Suomen puolella taas kolmessa kuusikossa neljästä.

Poikkeuksen muodostivat Ruotsin puolen turvemailla sijaitsevat kuusikot, joilla neulasten typpipitoisuudet olivat selvästi korkeammat ja kaliumpitoisuudet suhteessa typpipitoisuuksiin alhaisia (taulukko 5). Ravinne-epätasapainosta ovat osoituksena myös näiden kuusikoiden neulasista mitatut kohonneet arginiinipitoisuudet (kuva 54). Todennäköisesti näissä metsiköissä oli puutetta kaliumista. Suomen puolella neulasten kaliumpitoisuudet olivat kirjallisuudessa esitettyjen puutosrajojen alapuolella ainoastaan kolmella prosentilla kuusikoista (Jukka 1988). Kaliumin puutoksesta kangasmailla on hyvin vähän havaintoja, mutta sen sijaan turvemailla kaliumin puutos on varsin yleistä (Kaunisto ja Paavilainen 1988).

## Ilman epäpuhtauksilla vähän vaikutusta

Rikki on kasveille välttämätön valkuaisaineiden ja entsyymien rakenneosana. Kohonneiden ilman rikki-dioksidi- tai maaperän sulfaattipitoisuuksien seu-

rauksena neulasten rikkipitoisuuksien on havaittu nousevan (Malcolm ja Carfort 1977, Evers 1986, Raitio ym. 1995).

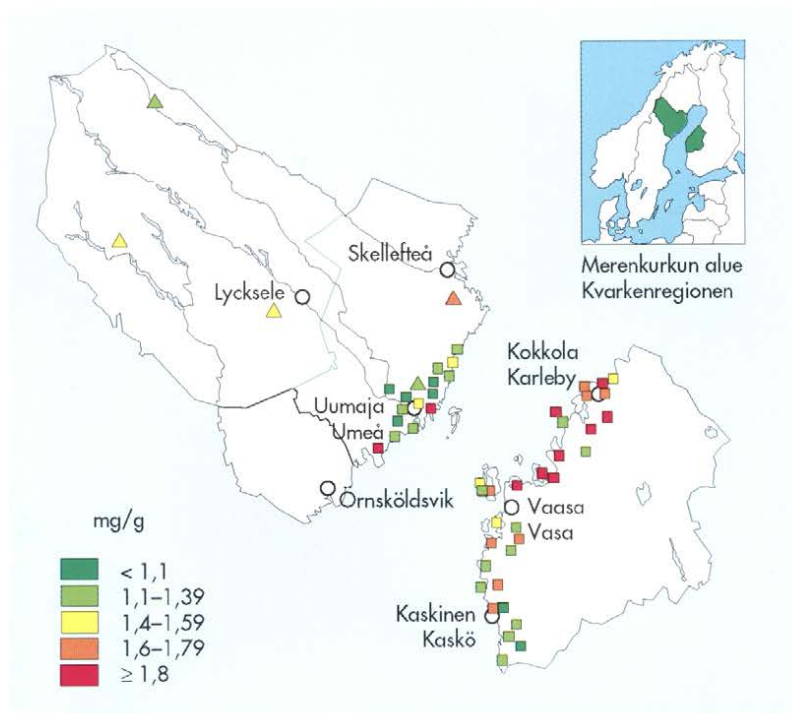
Neulasten rikkipitoisuudet vaihtelivat Ruotsin puolella 700–1 000 mg/kg ja Vaasan läänin rannikolla 800–1 200 mg/kg (kuva 55). Pitoisuudet olivat molemmissa neulasvuosikerroissa tilastollisesti merkitsevästi korkeampia Suomen puolella kuin Ruotsissa. Suomen puolen korkeammat rikkipitoisuudet johtunevat osin paikallisista rikkipäästöistä ja mahdollisesti myös maaperätekiijöistä. Suomen puolelta kerättyssä aineistossa todettiinkin humuksen rikkipitoisuuden ja vuotta vanhempien neulasten (C+1) rikkipitoisuuden välillä tilastollisesti merkitsevä yhteisvaihtelu.

Vaasan läänin rannikolta ja saaristosta kerättyjen neulasten rikkipitoisuudet olivat samaa tasoa kuin keskimäärin eteläsuomalaisissa kuusikoissa (Raitio 1994).

Vaasan läänin rannikkoalueella turkistarhat ovat merkittävä paikallinen ammoniumtypen päästölähde, joiden vaikutuksesta lähialueiden mäntymetsissä on todettu mm. neulasten kohonneita typpipitoisuuksia (Ferm ym. 1990). Kuusen neulasten alhaiset typpipitoisuudet eivät kuitenkaan viitanneet turkistarhojen vaikutukseen. Syyinä tähän

**Kuva 53.** Kuusen kaksi-vuotisten (C+1) neulasten fosforipitoisuuksien alueellinen jakautuminen Merenkurkun alueella vuonna 1992.

**Figur 53.** Den regionala fördelningen av fosforhalter i granens tvååriga (C+1) barr inom Kvarkenregionen år 1992.



underskreds bristgränsen av kväve, 12,4 mg/g (Jukka 1988), på nästan alla provytor på fastmark (94 %) i Västerbotten, medan kvävebrist förekom endast på en tredjedel av provytorna i Vasa läns kustland. Bristen på kväve var starkast inom Sydösterbottenregionen och på Replot (figur 52). För hälften av provytorna i Sverige låg fosforhalten i de yngsta barren under bristgränsen, 1,4 mg/g (Jukka 1988), medan den motsvarande siffran för Vasa läns kustområde endast var 9 % (figur 50). Gödslingsförsök med endast fosfor har inte gett upphov till tillväxtökning på motsvarande ståndorter i Sverige. Detta stöder sålunda inte antagandet om fosforbrist.

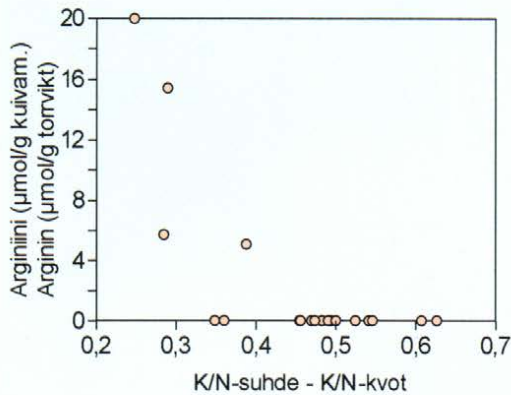
Då barrträd har knappt om s.k. mobila näringsämnen (N, P, K, Mg), förflyttas dessa näringsämnen från äldre barr till nya, växande barr. Därför kan bristen på mobila näringsämnen lättast konstateras genom att analysera de gamla barrårgångarna. Dessa analyser visade fosforbrist hos 63 % av de undersökta granbestånden i Sverige och hos 39 % av bestånden i Finland (figur 51). I Österbottens kustområde påträffades de lägsta fosforhalter i barr inom Sydösterbottenregionen (figur 53). Kvävebrist framträdde däremot på alla provytor på fastmark i Sverige, medan den förekom på tre

ytor av fyra på den finska sidan.

Ett undantag utgjorde den svenska sidans granbestånd på torvmark, där kvävehalter i barr var betydligt högre samt kaliumhalter i förhållande till kvävehalter låga (tabell 5). Om näringsobalans vittnar även de höjda argininhalter som har uppmätts hos barr från dessa provytor (figur 54). Sannolikt föreligger brist på kalium i dessa bestånd. På den finska sidan låg kaliumhalter i barr under de bristgränser som framförs i litteraturen endast för tre procent av provytorna (Jukka 1988). Kaliumbrist har observerats ytterst lite på fastmark, men den förekommer rätt allmänt på torvmark (Kaunisto och Paavilainen 1988).

## Luftföroreningarnas verkningar är små

Svavel är en viktig beståndsdel i växternas äggviteämnen och enzymer. Det har konstaterats att svavelhalter i barr stiger till följd av höga halter av svaveldioxid i luften eller sulfat i jordmånen (Malcolm och Carfort 1977, Evers 1986, Raitio m.fl. 1995).



**Kuva 54.** Kaksivuotisten (C+1) neulasten arginiinipitoisuuden ja kalium/typpi-suhteen yhteisvaihtelu Västerbottenin rannikolla.

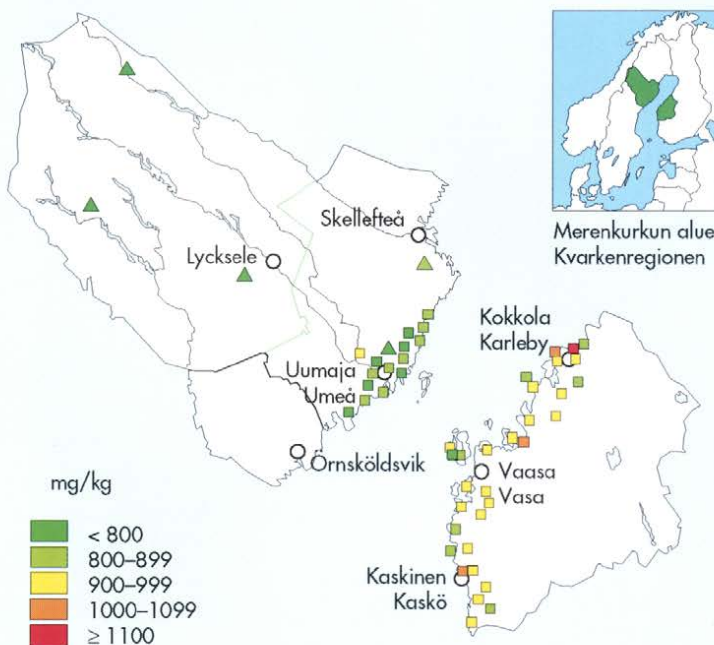
**Figur 54.** Korrelationen mellan arginin och kalium/kväve kvoten i 2-åriga (C+1) barr från Västerbotens kust.

lienee se, että ammoniakkipäästöt rajoittuvat pääosin päästölähteiden läheisyyteen (Niskanen ym. 1990) ja tutkitut kuusikot sijaitsivat lähinnä tausta-alueilla.

Korkeimmat kadmiumpitoisuudet mitattiin Ruotsissa Holmsvattenin lähellä sijaitsevassa kuusikossa. Myös nikkelpitoisuudet olivat siellä korkeahkot. Kohonneet pitoisuudet aiheutunevat Rönnskärsverkenin raskasmetallipäästöistä. Pitoisuudet olivat kuitenkin selvästi alempia, kuin on havaittu esimerkiksi Kuolan niemimaalla metallisulattojen lähiympäristössä (Raitio 1992). Suomen puolella kuparipitoisuudet olivat kaikkialla erittäin alhaiset, etenkin Raippaluodossa (Ahrens 1964).

## Puiden iän ja kasvupaikan vaikutus

Puiden iän vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin ilmeni voimakkaimmin Suomen puolen aineistossa. Vaasan läänin rannikolla ja saaristossa puiden iällä oli selvin vaikutus neulasten booripitoisuuteen: puiden iän kasvaessa neulasten booripitoisuudet kohosivat (kuvat 50 ja 51). Tämä johtunee harsuuntumisen aiheuttamasta neulasmassan pienemisestä, jolloin jäljelle jääviin neulasiin kertyy runsaammin booria. Tätä tukevat kenttäkokeiden tulokset, joissa latvuksen neulasmassaa on pienennetty oksia poistamalla (Nuorteva ja Kurkela 1993). Kuusen neulasten typpi- ja kuparipitoisuu-



**Kuva 55.** Kuusen nuorimpien (C) neulasten rikkipitoisuuksien alueellinen jakautuminen Merenkurkun alueella vuonna 1992.

**Figur 55.** Den regionala fördelningen av svavelhalter i granens yngsta (C) barr inom Kvarkenregionen år 1992.

**Taulukko 5.** Kuusen neulasten arginiini- ( $\mu\text{mol/g}$  kuivamassa) ja ravinnepitoisuudet  $\pm$  keskihajonnat ( $\text{mg/g}$  kuivamassa) sekä kivennäisravinteiden ja typen suhde. Valtakunnan metsien inventoinnin 3 (C+2) ja 4 (C+3) vuotta vanhat neulaset vuodelta 1990 ja projektin 2 vuotta (C+1) vanhat neulaset vuodelta 1992.

**Tabell 5.** Granbarrens halter av arginin ( $\mu\text{mol/g}$  torrvtikt) och näringsämnen  $\pm$  standardavvikelsen ( $\text{mg/g}$  torrvtikt), samt kvoter mellan mineralnäringsämne och kväve. Riksskogstaxeringen 1990, 3- (C+2) och 4-åriga (C+3) barr, samt projektets 2-åriga (C+1) barr 1992.

Valtakunnan metsien inventointi 1990 C+2 ja C+3, kangasmaat (n=15) Riksskogstaxeringen 1990 C+2 och C+3, mårmarker (n=15)			Merenkurkku 1992 C+1, kangasmaat (n=16) Kvarken 1992 C+1, mårmarker (n=16)		Merenkurkku 1992 C+1, turvemaat (n=4) Kvarken 1992 C+1, torvmarker (n=4)	
Pitoisuus Koncentration	Ravinne/typpisuhde x 100 Näringsämne/ kväve kvot x 100		Pitoisuus Koncentration	Ravinne/typpisuhde x 100 Näringsämne/ kväve kvot x 100	Pitoisuus Koncentration	Ravinne/typpisuhde x 100 Näringsämne/ kväve kvot x 100
<b>Arginiini</b>			<b>115 <math>\pm</math> 74</b>			
<b>Arginin</b>						
N	9,5 $\pm$ 1,5	100	10,2 $\pm$ 1	100	13,8 $\pm$ 2,4	100
P	1,27 $\pm$ 0,28	13,4 $\pm$ 2,8	1,35 $\pm$ 0,37	13 $\pm$ 3,9	1,14 $\pm$ 0,23	8,4 $\pm$ 1,8
K	3,95 $\pm$ 0,56	41,8 $\pm$ 3,9	4,99 $\pm$ 0,63	49 $\pm$ 7,3	4,12 $\pm$ 0,61	30 $\pm$ 6
Ca	7,61 $\pm$ 1,45	81,1 $\pm$ 14,9	5,42 $\pm$ 0,91	53 $\pm$ 9,2	4,63 $\pm$ 0,39	35 $\pm$ 8,3
Mg	0,91 $\pm$ 0,16	9,7 $\pm$ 1,6	0,96 $\pm$ 0,28	9,6 $\pm$ 2,9	0,94 $\pm$ 0,06	7 $\pm$ 1,1
S	0,82 $\pm$ 0,12	8,7 $\pm$ 1,1	0,85 $\pm$ 0,06	8,4 $\pm$ 0,9	0,86 $\pm$ 0,06	6,3 $\pm$ 0,9
Mn	1,1 $\pm$ 0,28	12,0 $\pm$ 3,7	0,75 $\pm$ 0,27	7,5 $\pm$ 3,1	0,36 $\pm$ 0,2	2,7 $\pm$ 1,5
Al	0,08 $\pm$ 0,03	0,8 $\pm$ 0,4	0,05 $\pm$ 0,02	0,5 $\pm$ 0,2	0,03 $\pm$ 0,01	0,2 $\pm$ 0,1

Svavelhalterna i barr varierade på den svenska sidan mellan 700–1 000  $\text{mg/kg}$  och i Vasa läns kustland mellan 800–1 200  $\text{mg/kg}$  (figur 55). Halterna var i båda barrårgångarna högre på den finska sidan än i Sverige. De högre svavelhalterna på den finska sidan kan härröra från lokala svavelutsläpp eller möjligen från de kemiska markförhållandena. Svavelhalten i jordmånens humuslager och äldre barr (C+1) uppvisade i materialet från den finska sidan en statistiskt markant samvariation.

Svavelhalterna i barr från Vasa läns kustland och skärgård låg på samma nivå som hos granbestånd i södra Finland i medeltal (Raitio 1994).

I Vasa läns kustregion utgör pålsdjursfarmerna en betydande lokal källa för ammoniumutsläpp. Dessa har medfört förhöjda kvävehalter hos barr i tallskogar i närheten av farmerna (Ferm m.fl. 1990). I denna undersökning var kvävehalterna låga i granbarren, vilket innebär att pålsfarmernas inverkan var liten. Anledningen är troligtvis att ammoniakutsläppen huvudsakligen begränsar sig

till i närheten av utsläppskällorna (Niskanen m. fl. 1990). De studerade granbestånden växte i regel långt från lokala utsläppskällor.

De högsta kadmiumhalterna uppmättes i ett granbestånd nära Holmsvattnet i Sverige, där även nickelhalterna var rätt höga. De höga halterna torde härstamma från tungmetallutsläppen från Rönnskärsverken. Halterna var dock betydligt lägre än vad som har iakttagits t.ex. i den nära omgivningen av metallsmältorierna på Kolahalvön (Raitio 1992). Däremot var kopparhalterna på den finska sidan mycket låga överallt, framför allt på Replot (Ahrens 1964).

## Verkan av trädens ålder och ståndort

Trädens ålder inverkar på näringsämneshalterna i barren vilket starkast kom till uttryck i materialet

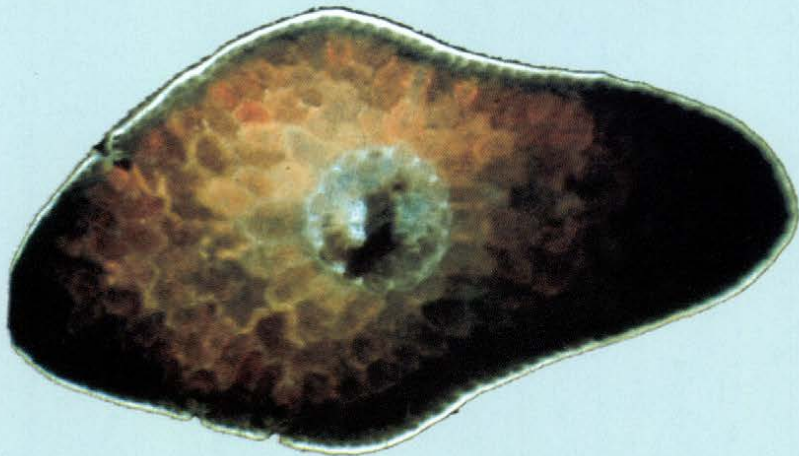
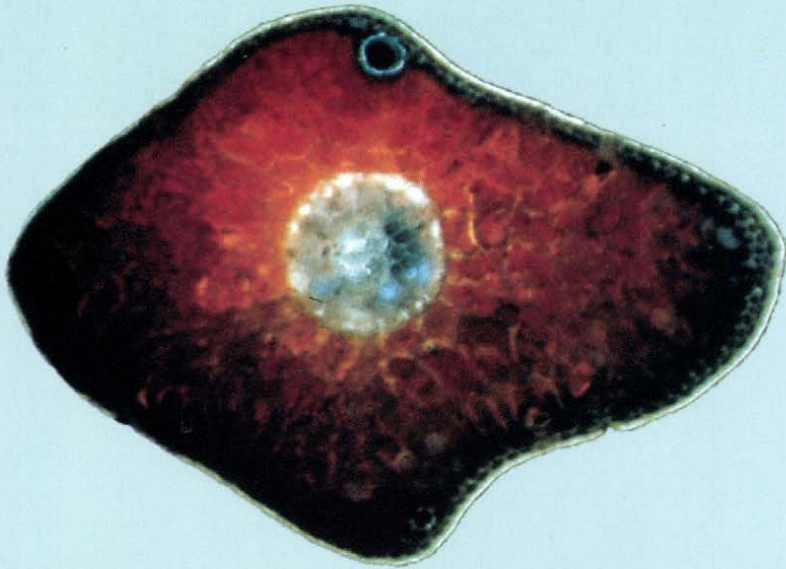
det sekä paikoin myös fosforipitoisuudet olivat alhaisimmat vanhimmassa ikäluokassa (kuvat 50 ja 51).

On olemassa vain vähän vertailuja, joissa tarkastellaan maasta ja samoilta kasvupaikoilta kerätyistä neulasista tehtyjä kemiallisia analyysejä (esim. Paarlahti ym. 1971, Liu ja Trüby 1988). Vaasan läänin rannikolta ja saaristosta kerätyssä aineistossa humuskerroksen ravinnepitoisuudet (N, P, K,

S, Ca, Mn ja Zn) laskettuna orgaanista ainetta kohden korreloivat tilastollisesti merkitsevästi neulasten vastaavien ravinnepitoisuuksien kanssa. Vastaava korrelaatio ilmeni myös kivennäismaan pintakerroksen rikki- ja kaliumipitoisuuksien osalta. Mielenkiintoista oli myös havaita, että mitä happamampi humuskerros oli, sitä pienempi oli neulasten typpipitoisuus.

från den finska sidan. I Vasa läns kustområde påverkade trädens ålder barrens borhalt: med stigande ålder steg även borhalterna (figur 50 och 51). Detta beror troligen på att redueringen av barrmassan p.g.a. kronutglesning medför att de kvarblivande barren samlar upp större mängder bor. Antagandet stöds av resultat från fältförsök, där träd Kronans barrmassa har minskats genom att avlägsna kvistar (Nuorteva och Kurkela 1993). Granbarrrens kväve- och kopparhalter och i någon mån även fosforhalter var minst i den äldsta åldersklassen (figur 50 och 51).

Det finns endast ett fåtal studier där man studerat sambanden mellan markkemiska och barrkemiska variabler från en och samma ståndort (t.ex. Paarlahti m. fl. 1971, Liu och Trüby 1988). I materialet från Vasa läns kustland och skärgård korrelerade näringshalterna (N, P, K, S, Ca, Mn och Zn) i humus, räknat som kvot av organiskt material, med motsvarande näringshalter i barr. En liknande korrelation förekom också för svavel- och kaliumhalterna i mineralmarkens ytlager. Intressant var även följande observation: ju surare humuslagret var, desto lägre var kvävehalten i barren.



## KUUSENNEULASTEN SOLURAKENNE GRANBARRENS CELLSTRUKTUR

Sirkka Sutinen & Minna Mäenpää

*Tutkituissa kuusen neulasissa havaittiin sekä terveitä että eri tavoin oireilevia soluja. Kokonaan tuhoutuneita tai tuhoutuvia soluja oli suhteellisen vähän. Terveitä soluja luonnehti tyypillinen talvitila, jossa vaaleassa solulimassa erottui rykelmä viherhiukkasia ja keskusvakuolissa raemainen tanniini. Oireilevissa soluissa ilmeni pientynteitä viherhiukkasia, soluliman vakuolisoitumista ja tanniinin nauhoittumista. Lisäksi osassa soluista viherhiukkasten pienten rasvapallosten eli plastoglobulien määrä oli lisääntynyt.*

*Solu- ja solukkotasoiset muutokset kuusen neulasissa viittaavat suhteellisen tasaiseen otsonin vaikutukseen kaikkialla Merenkurkun alueella. Neulasten alhainen tyyppitaso lienee vaikuttanut solujen kuntoon Västerbottenin rannikolla, missä typen niukkuus on saattanut voimistaa otsonin haittavaikutuksia. Happamaan märkälaskeumaan viittaavia oireita tavattiin vähäisessä määrin kummallakin puolella Merenkurkkua, kun taas kaasumaiselle rikkidioksidille tunnusomaisia, vaurioasteeltaan jokseenkin lieviä solumuutoksia tavattiin ainoastaan Suomen puolella.*

*I de undersökta granbarren observerades både friska celler och celler med olika slags symptom. Relativt små cellmängder var helt nedbrutna eller på väg att brytas ned. De friska cellerna kännetecknades av ett typiskt vintertillstånd. I dessa kunde man urskilja en hopgyttring av kloroplaster i den ljusa cytoplasman, samt hagelliknande tanninbildningar i centralvakuolema. I cellerna med skadesymptom förekom en förminskning av kloroplasterna, vakuolisering av cytoplasman och anhopningar av tannin. Därtill var antalet små fettdroppar, s.k. plastoglobuli, förhöjt i kloroplasterna hos en del av cellerna.*

*Förändringarna på cell- och cellvävnadsnivå i granbarr tyder på en relativt jämn exponering för ozon inom hela Kvarkenregionen. Den låga kvävenivån torde ha påverkat cellernas kondition, framför allt vid Västerbottenkusten, där bristen på kväve även har förstärkt ozonets skadliga inverkan. Symptom som tyder på försurad våtdeposition påträffades i liten mängd på båda sidor om Kvarken, medan de för gasformiga svavelföreningar typiska cellförändringarna – om än av lindrig art – endast påträffades på den finska sidan.*

**Poikkileikkauskuvia kuusen neulasista. Punaisen värin häviäminen osoittaa otsonivaurioiden sijainnin. Ylässä terve kuusen neulanen ja alinna otsonin täysin vaurioittama neulanen. Kuva: Sirkka Sutinen.**

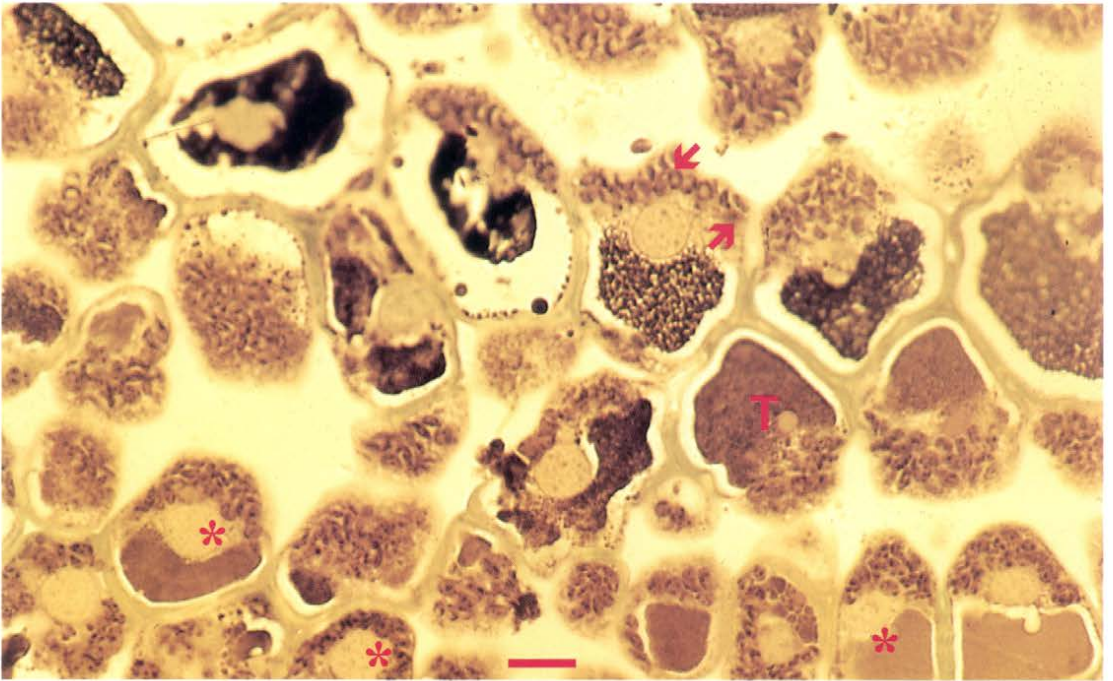
**Tvärsnitt av granbarr. Minskning av den röda färgen visar de ozonskadade ställena. Överst ett friskt granbarr och nederst ett svårt skadat barr. Foto: Sirkka Sutinen.**

## Johdanto

Havupuiden neulasten rakenteessa tapahtuneita muutoksia voidaan tutkia mm. valo- ja elektronimikroskoopilla. Kokeellisten tutkimusten avulla on opittu tunnistamaan eri tekijöiden, esim. rikki-dioksidi-, otsoni-, hapansade-, fluoridi- tai kloridi-altistuksen sekä pakkasen, kuivuuden ja erilaisen ravinnepuutosten aiheuttamia solu- ja solukkotasoisia oireita (Holopainen ym. 1992, Sutinen 1994). Myös vuodenaikaan (Soikkeli 1978) ja neulasten ikääntymiseen (Sutinen 1987) liittyvät muutokset eroavat toisistaan sekä edellä mainittujen tekijöiden aiheuttamista muutoksista. Oireet voivat esiintyä joko yksin tai erilaisina yhdistel-

minä samassa solussa tai solukossa. Pistemittaus-tekniikkaa käyttäen voidaan näytteistä laskea mm. terveiden ja eri tavoin oireilevien solujen osuudet ja saada siten viitteitä oireiden aiheuttajista ja niiden keskinäisistä vuorosuhteista.

Merenkurkun rannikon ja saariston eri-ikäisistä kuusikoista kerättiin nuorimpia ja niitä vuotta vanhempia neulasia Suomen puolelta 33 kuusikosta joulukuussa 1992 ja Ruotsin puolelta 18 kuusikosta joulukuussa 1993 rakennetutkimuksia varten. Samoista puista kerätyistä neulasista tehtiin myös kemialliset analyysit, joiden tulokset on esitetty tämän kirjan kappaleessa "kuusikoiden ravinnetila".



**Kuva 56.** Nuorimman (C) neulasan yhteyttävän solukon terveitä soluja. Viherhiukkaset ovat, lukuunottamatta pintasolukon eli epidermin viereisiä soluja (tähdet), kooltaan ja väriltään normaaleja. Viherhiukkasissa erottuu tummana rasvoja sisältävä kalvosto (nuolet) ja vaaleampana näkyvä stroma. Solulima on vaalea ja tasainen. Keskusvakuolissa on raemaista tanniinia (T). Jana = 12  $\mu\text{m}$ .

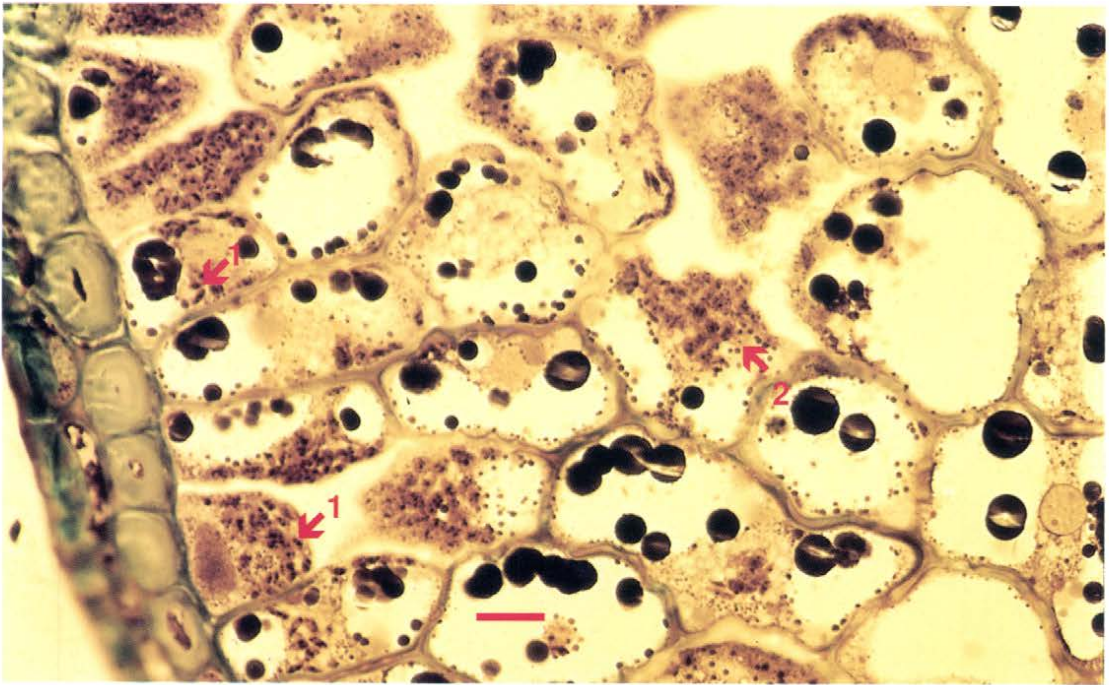
**Figur 56.** Friska celler i den assimilerande cellvävnaden av ett årsbarr (C). Kloroplasterna har normal storlek och färg med undantag för cellerna vid epidermis (stjärnor). I kloroplasterna kan ett mörkt membrannät urskiljas (pilar) med fetter samt stroma som syns i ljusare färg. Cytoplasman är ljus och jämn. Centralvakuolen innehåller hagelartat tannin (T). Streck = 12  $\mu\text{m}$ .

## Inledning

Förändringarna i strukturen hos trädens barr kan undersökas bl.a. med ljus- och elektronmikroskop. Med hjälp av experimentella undersökningar kan man identifiera symptom på cell- och cellvävnadsnivå som är orsakade av olika faktorer, t.ex. exponering för svaveldioxid, ozon, surt regn, fluorid eller klorid samt köld, torka och olika slags näringsbrist (Holopainen m.fl. 1992, Sutinen 1994). Även förändringar hos barren som beror på årstid (Soikkeli 1978) och åldrande (Sutinen 1987) är urskiljbara. Symptomen kan förekomma antingen ensamma eller som olika kombinationer i en och samma cell eller cellvävnad. Genom att använda punktmät-

ningsteknik kan man från prover räkna t.ex. de relativa andelarna friska celler och celler med olika slags symptom. På det sättet kan man få ledtrådar till vilka faktorer som har vållat symptomen och hur dessa står i förhållande till varandra.

Från granskogarna i olika åldersstadier vid Kvarkens kustområde samlades årsbarr och ett år gamla barr på finska sidan i 33 granbestånd under december 1992 och på svenska sidan i 18 granbestånd under december 1993 för strukturundersökningar. Barr från samma träd analyserades även kemiskt, och resultaten presenteras i avsnittet "Granskogarnas näringstillstånd" i denna rapport.



**Kuva 57.** Otsonialtistukselle tyypillinen asteittain etenevä viherhiukkasten pieneneminen ja tummuminen kaksivuotisessa (C+1) neulasessa. Neulasen uloimmassa solukeroksessa viherhiukkaset ovat erittäin pieniä ja tummia (nuoli 1) ja sisemmissä solukeroksissa hieman suurempia, mutta tummahkoja (nuoli 2). Jana = 12  $\mu\text{m}$ .

**Figur 57.** Den för ozonexponering typiska minskningen och mörkfärgningen av kloroplasterna i ett två år gammalt barr (C+1). I det yttersta cellagret hos barret är kloroplasterna mycket små och mörka (pil 1), och i de inre cellagren är de något större och skiftar i mörkt efter färgningen (pil 2). Streck = 12  $\mu\text{m}$ .

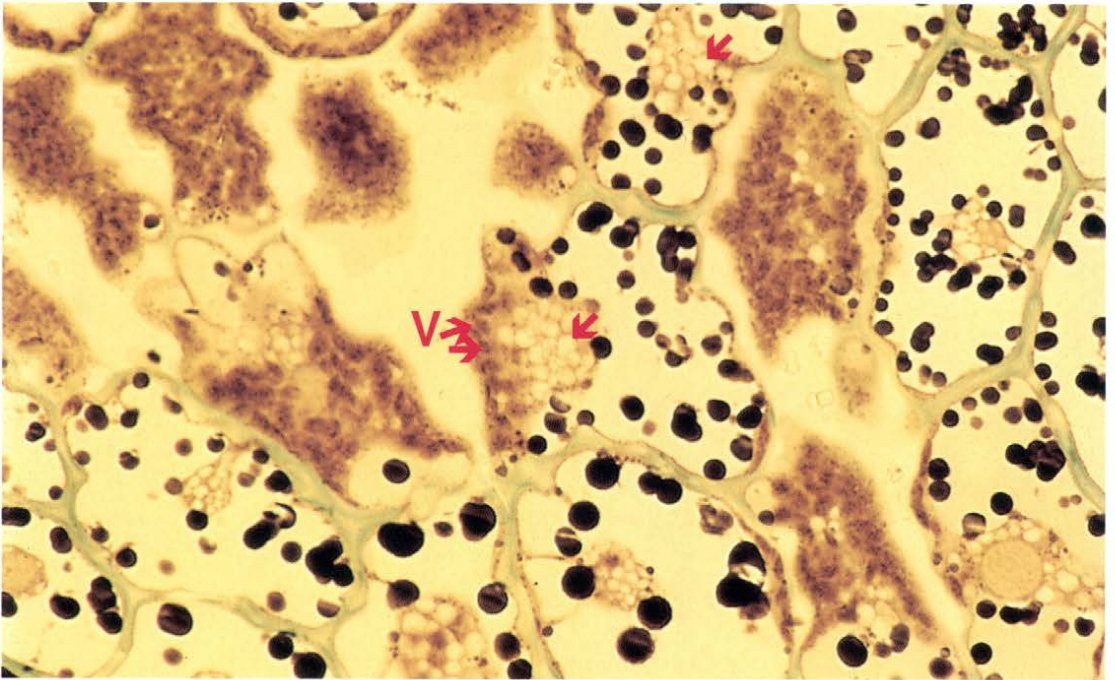
## Solurakenteen muutoksia

Tutkituissa kuusen neulasissa havaittiin sekä terveitä että eri tavoin oireilevia soluja. Kokonaan tuhoutuneita tai tuhoutuvia soluja oli suhteellisen vähän. Soluvälitilojen osuus yhteyttävässä solukossa oli samaa suuruusluokkaa kuin mitä aiemmissa tutkimuksissa on todettu vihreissä kuusen ja männyn neulasissa (Soikkeli 1981). Terveitä soluja luonnehti tyypillinen talvitila (Soikkeli 1978), jossa vaaleassa solulimassa erottui rykelmä viherhiukkasia ja keskusvakuolissa raemainen tanniini (kuva 56). Oireilevissa soluissa ilmeni pienentyneitä viherhiukkasia, soluliman vakuolisoitumista ja tanniinin nauhoittumista. Lisäksi osassa soluista viherhiukkasten pienten rasvapallosten eli plastoglobulien määrä oli lisääntynyt.

Västerbottenin läänin rannikolta kerätyissä neulasissa solulimaltaan terveiden solujen osuus oli

sitä suurempi mitä korkeampi oli neulasten tyypipitoisuus. Nuorimmissa neulasissa samanlainen yhteisvaihtelu todettiin myös rikin osalta. Vaasan läänin rannikon ja saariston kuusikoissa todettiin puolestaan solulimaltaan terveiden solujen osuuden ja neulasten kuparipitoisuuden välillä positiivinen korrelaatio, mikä viittaa kuparin puutokseen.

Viherhiukkasten pienentyminen oli yleistä kaikissa tutkituissa kuusikoissa. Suomen puolella tätä oiretta esiintyi 10–30 % ja Ruotsin puolella yli 80 % yhteyttävästä solukosta. Suomalaisissa kuusikoissa pienentyneet viherhiukkaset olivat usein tummia (kuva 57), kun taas Ruotsin puolella osa niistä oli erittäin vaaleita. Viherhiukkasten pienentyminen ilman samanaikaista strooman tummumista on havaittu typen puutteesta kärsivillä havupuilla (Holopainen ym. 1992). Tässä aineistossa valo-



**Kuva 58.** Happamalle märkälasseumalle tyypillinen soluliman rakkuloituminen (nuolet) nuorimman (C) neulasen yhteyttävässä solukossa. Viherhiukkasten (V) koko normaalia pienempi. Jana = 10 µm.

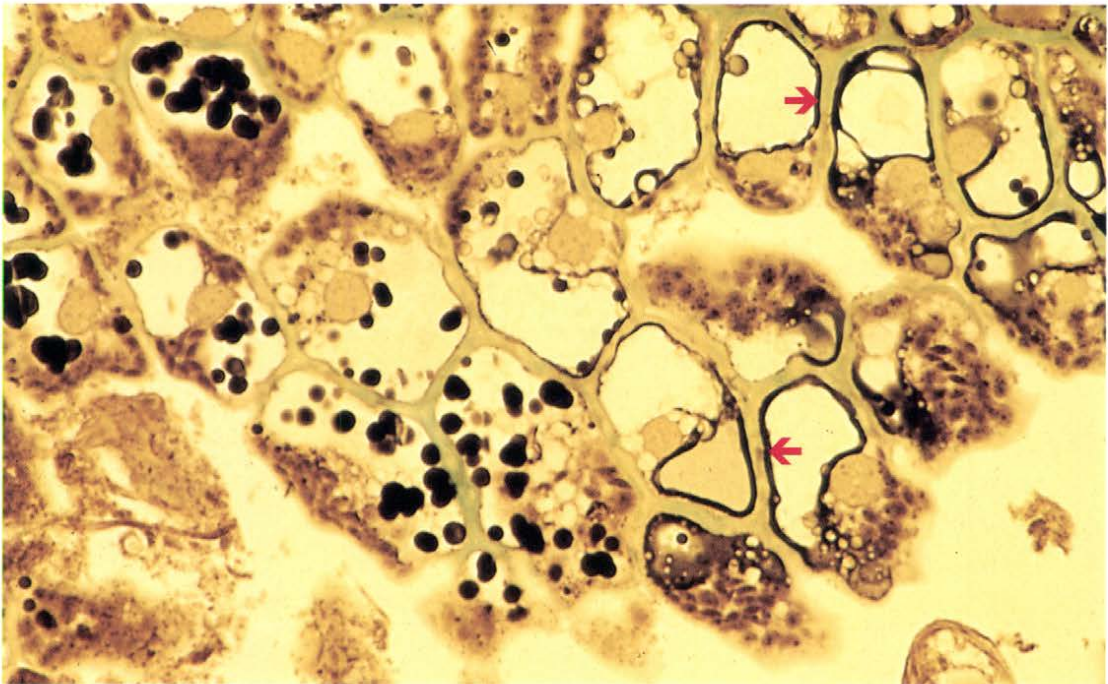
**Figur 58.** Vakuolisering av cytoplasman (pilar) i årsbarr (C) är typisk för den assimilerande cellvävnaden vid surt nedfall. Kloroplasternas (V) storlek är reducerad. Streck = 10 µm.

## Förändringar i cellstruktur

I de undersökta granbarren observerades både friska celler och celler med olika slags symptom. Relativt små cellmängder var helt nedbrutna eller på väg att brytas ned. Andelen hålrum mellan cellerna (intercellularer) i den assimilerande cellvävnaden var av samma storleksklass som man vid tidigare undersökningar har observerat i gröna gran- och tallbar (Soikkeli 1981). De friska cellerna kännetecknades av ett typiskt vintertillstånd (Soikkeli 1978). I dessa kunde man urskilja en hopgyttring av kloroplaster i den ljusa cytoplasman, samt hagel-liknande tanninbildningar i centralvakuolerna (figur 56). I cellerna med skadesymptom förekom en förminskning av kloroplasterna, vakuolisering av cytoplasman och anhopningar av tannin. Därtill var antalet små fettdroppar, s.k. plastoglobuli, förhöjt i kloroplasterna hos en del av cellerna.

I barr från Västerbottens kustland var andelen celler med frisk cytoplasma större ju högre kvävehalten var i barren. I de yngsta barren konstaterades en likadan samvariation också beträffande svavel. I granbestånden i Vasa läns kustområde observerades å andra sidan en positiv korrelation mellan andelen celler med frisk cytoplasma och barrens kopparhalt. Detta är tecken på kopparbrist.

Storleksminskningen av kloroplaster var vanlig i alla undersökta granbestånd. På finska sidan förekom detta symptom i 10–30 %, och på svenska sidan i över 80 % av den assimilerande cellvävnaden. Hos de finska granbestånden var kloroplasterna ofta mörka (figur 57), medan en del av dem på svenska sidan var mycket ljusa. Denna minskning av en del kloroplaster utan att en samtidig mörkfärgning av kloroplastvävnaden (stroman) äger



**Kuva 59.** Rikkidioksidille tyypillinen, kuitenkin lievä oire kaksivuotisessa (C+1) neulasessa. Tanniini on nauhoittunut (nuolet), solulima on vielä suhteellisen normaali. Viherhiukkaset ovat kooltaan pienempiä ja tummempia kuin täysin terveiksi luokitelluissa soluissa (vrt. kuva 56) viitaten samanaikaiseen otsonin vaikutukseen. Jana = 12  $\mu$ m.

**Figur 59.** Ett typiskt, men dock lindrigt symptom av svaveldioxid i andra ärgångens (C+1) barr. Tanninet formar ett band (pilarna), men cytoplasman är fortfarande relativt normal. Kloroplasterna är mindre och mörkare än i de helt friska cellerna (jfr. bild 56), vilket tyder på en samtidig påverkan av ozon. Streck = 12  $\mu$ m.

mikroskooppisesti todetun oireiston ja neulasten typpipitoisuuden välistä riippuvuutta ei todettu.

Viherhiukkasten pieneneminen ja samanaikainen tummuminen on puolestaan havaittu kokeellisissa tutkimuksissa otsonille altistetuissa kuusten ja mäntyjen neulasissa (Sutinen ym. 1990, Holopainen ym. 1993). Kasvukauden aikaiset otsonipitoisuudet näissä altistuskokeissa ovat olleet samaa tasoa ( $60\text{--}100\ \mu\text{g m}^3$ ) kuin Suomessa mitatut ilman otsonipitoisuudet (Laurila ja Lättilä 1993). Merenkurkun alueella havaituista oireista juuri tummia, pieniä viherhiukkasia esiintyi tasaisemmin kuin muita oireita, mikä osaltaan viittaa otsonin vaikutukseen, koska otsonipitoisuuden alueellinen vaihtelu on vähäistä.

Västerbottenin läänin rannikolla kummassakin neulasikäluokassa pieniä, sekä tummia että vaaleita viherhiukkasia sisältävien solujen suhteellinen osuus oli sitä suurempi, mitä pienempi oli neulasten typpipitoisuus. Suomen puolen aineistossa vastaava, joskin heikko riippuvuus todettiin ainoastaan nuorimmissa neulasissa. Otsonioireiden osuuden lisääntyessä nuorimpien neulasten pituus ja tuoremassa pieneni. Neulasten kasvuun lienee kuitenkin vaikuttanut enemmän typen niukkuus kuin otsonin aiheuttamat rakennemuutokset yhteyttävässä solukossa. Tosin kokeellisesti on todettu, että typen puute herkistää puita otsonin vaikutuksille (Holopainen ym. 1993). Tämä voi osaltaan selittää sitä, että Västerbottenin rannikolla kuusen neulasissa todettiin runsaammin otsonin aiheuttamia oireita kuin Suomen puolella.

Osassa soluja viherhiukkasten plastoglobulien määrä oli melko runsas. Plastoglobulien määrän

lisääntyminen on yleisesti tunnettu stressioire (Sutinen 1994). Oiretta voitaneen pitää jonkinlaisena solujen suojamekanismina pitkäkestoisessa, mutta kuitenkin siedettävässä stressitilanteessa.

Solulimaltaan vakuolisoituneiden (kuva 58) solujen määrä vaihteli kummallakin puolella Merenkurkkua, maksimissaan se oli 15 % yhteyttävästä solukosta. Nuoret neulaset oireilivat yleensä enemmän kuin vanhemmat, mikä on todettu myös muualla Suomessa tehdyissä tutkimuksissa (Sutinen 1995). Oire viittaa happaman märkälasketuman vaikutukseen (Bäck ym. 1994).

Tutkituissa kuusen neulasissa havaittu vakuolisoitumisen alkuvaihe, solukalvon rakkuloituminen, muistuttaa leveälehtisillä kasveilla todettuja solumuutoksia, jotka tapahtuvat kasvien sopeutuessa kylmään (Niki 1982). Suomen puolella tämä oire korreloi positiivisesti etenkin nuorimpien neulasten kaliumpitoisuuksien kanssa. Kaliumin onkin todettu usein lisäävän puiden kylmänkestävyyttä (Larsen 1976, Raitio 1987), joten vakuolisoituminen saattaa merkitä myös solujen lisääntynyttä puolustautumista stressitilanteessa.

Tanniinin nauhoittumista (kuva 59) ja siihen liittyvää soluliman tummumista tavattiin vain Suomen puolelta kerätyissä näytteissä. Kyseistä oiretta pidetään tyypillisenä rikkidioksidin aiheuttamana muutoksena (Soikkeli 1981). Lievien oireiden osuuden ja neulasten rikkipitoisuuden välillä todettiin suuntaa-antava riippuvuus. Samansuuntainen tulos on saatu myös muualta Suomesta alueilta, joilla rikkilaskeuma on suhteellisen alhainen (esim. Sutinen 1995).

rum, har observerats hos barrträd med kvävebrist (Holopainen m.fl. 1992). I detta material förelåg ingen korrelation mellan de symptom som observerades i ljusmikroskop och barrrens kvävehalt.

Minskningen av kloroplasternas storlek samtidigt med mörkfärgning har fastställts vid experimentella undersökningar hos gran- och tallbarr som har utsatts för ozon (Sutinen m.fl. 1990, Holopainen m.fl. 1993). Ozonhalterna under växtperioden har vid dessa försök varit på samma nivå (60–100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) som de i Finland uppmätta ozonhalterna i luft (Laurila och Lättilä 1993). Mörka och små kloroplaster förekommer jämnare utbrett än andra symptom inom Kvarkenregionen. Detta tyder på påverkan av ozon, eftersom även ozonhaltenas lokala variation är liten.

Vid Västerbottenskusten var den relativa andelen celler med små, mörka eller ljusa kloroplaster större ju mindre kvävehalt som fanns i barrren. I materialet från finska sidan konstaterades ett likadant – om ock svagt – samband hos de yngsta barrren. När andelen barr med ozonsymptom ökade, minskade längden och den friska vikten av de yngsta barrren. Barrrens tillväxt torde ändå ha påverkats mer av brist på kväve än av de av ozon orsakade strukturförändringarna i den assimilerande cellvävnaden. Visserligen har man påvisat experimentellt att kvävebrist gör träden känsligare för ozonpåverkan (Holopainen m. fl. 1993). Detta kan förklara varför det observerades ozonsymptom i rikligare mått i granbarr vid Västerbottens kust än på finska sidan.

I en del av cellerna var mängden plastoglobuli i kloroplasterna ganska stor. Ökningen av mängden

plastoglobuli är ett allmänt känt symptom på stress (Sutinen 1994). Troligen är symptomet tecken på ett slags skyddsmekanism hos cellerna under en långvarig men ändå överkomlig stressituation.

Antalet celler med vakuoliserad cytoplasma (figur 58) varierade på båda sidorna av Kvarken, och maximum uppgick till 15 % av den assimilerande cellvävnaden. De unga barrren hade flera symptom än de äldre, vilket även har fastslagits vid undersökningar på annat håll i Finland (Sutinen 1995). Symptomet pekar på inverkan av sur våtdeposition (Bäck m.fl. 1994).

Det första skedet av vakuoliseringen, bildningen av s. k. blemmor på cellmembranen, som visar sig i de undersökta granbarrren, liknar de cellförändringar hos växter med breda blad som sker när växterna anpassar sig till kyla (Niki 1982). På finska sidan korrelerar detta symptom positivt med kaliumhalten i framför allt de yngsta barrren. Det har ju konstaterats att kalium ökar trädets tolerans mot kyla (Larsen 1976, Raitio 1987). Därför kan vakuoliseringen betyda att cellerna försvarar sig kraftigare i en stressituation.

Anhopning av tannin (figur 59) och den mörkfärgning av cytoplasman som hör samman med tanninanhopningen påträffades endast i prover från den finska sidan. Detta symptom visar på typiska förändringar orsakade av svaveldioxid (Soikkeli 1981). Ett tydligt samband mellan andelen lindriga skador och svavelhalten i barr kunde konstateras. Ett likartat resultat har även erhållits i andra regioner i Finland där ett relativt lågt svavelnedfall förekommit (t.ex. Sutinen 1995).



# HARSUUNTUMINEN JA VÄRIVIAT BARRFÖRLUST OCH MISSFÄRGNING

Maija Salemaa, Martti Lindgren & Mats Walheim

*Pohjanmaan rannikon ja saariston kuusikot olivat harsuuntuneempia ja niissä esiintyi enemmän värivikoja kuin vastaavilla kasvupaikoilla muualla Etelä-Suomessa. Västerbottenin läänin rannikolla kuusikoiden latvusten kunto edusti Keski-Ruotsin rannikon yleistaso. Saman ikäluokan kuusikot olivat harsuuntuneempia Suomen kuin Ruotsin rannikolla. Molemmissa maissa harsuuntuminen oli voimakkaampaa vanhoissa metsissä. Suomen puolella Merenkurkkua kuusien harsuuntuminen alkoi nuoremmassa, 50–60-vuotiaissa metsissä, ja latvukset rapistuivat iän myötä nopeammin kuin muualla Etelä-Suomessa.*

*Leväpeitettä neulasten pinnalla tavattiin enemmän Suomen puolella. Ilmasto-tekijöiden lisäksi tähän lienee vaikuttanut maatalouden ja turkistarhauksen tyyppi-päästöt Vaasan läänin rannikolla. Suomessa harsuuntuneiden ja värivikaisten kuusien neulasten tyyppi- ja kuparipitoisuudet olivat alhaisia ja Ruotsissa vastaavasti magnesiumipitoisuudet. Tällaisissa kuusikoissa havaittiin myös neulasten soluvaurioita enemmän kuin latvukseltaan tuuheammassa kuusikoissa.*

*Granskogarna vid Österbottens kustland var mera utglesade och missfärgade än granskogarna på motsvarande ståndorter på annat håll i södra Finland. I Västerbottens kustland avvek inte granarnas kronkondition från den allmänna nivån vid kustlandet i mellersta Sverige. Granskogarna i samma åldersklass var mera utglesade vid den finska kusten än vid den svenska. I båda länderna var utglesningen större ju äldre skogen var. På finska sidan av Kvarken började utglesningen i yngre, 50–60-åriga skogar, och kronorna utglesades med åldern snabbare än i annars södra Finland.*

*Alger på barren påträffades i större mån på den finska sidan. Förutom klimatfaktorer torde detta bero på kväveutsläpp från lantbruk och pälsdjursfarmning i Vasa läns kustregion. I Finland var kväve- och kopparhalterna låga i barr från utglesade och missfärgade granar, medan motsvarande barr i Sverige uppvisade låga magnesiumhalter. I utglesade granbestånd observerades även en större andel cellskador i barren än i bestånd med tätare kronor.*

**Huonokuntoisia kuusia Raippaluodon Norra Vallgrundissa. Kuva: Erkki Oksanen.**

**Granar i dåligt skick vid Norra Vallgrund på Replot. Foto: Erkki Oksanen.**

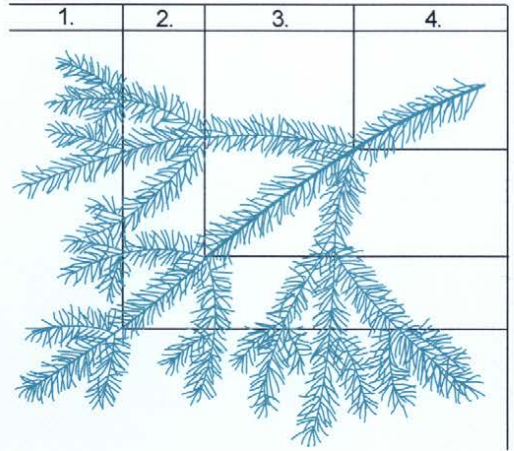
## Latvus puun kunnan ilmentäjänä

Havupuiden tärkeimmät elintoiminnot, yhteyttäminen ja haihdutus, tapahtuvat neulasissa. Latvus muodostaa rungon ja juuriston kanssa toiminnallisen kokonaisuuden, minkä seurauksena neulasmassan muutokset vaikuttavat mm. veden ja ravinteiden ottoon, yhteyttämis tuotteiden varastointiin ja puun kasvuun. Näin ollen neulasten terveys on edellytys koko puun hyvälle kunnolle. Yksittäisten puiden neulasmassan määrää ja siinä tapahtuvaa vaihtelua käytetään usein metsien terveydentilan mittana. Esimerkiksi yleiseurooppalaisessa metsien kunnan seurantaohjelmassa suhteellinen neulaskato eli harsuuntuminen on neulasten värvikojen ohella puiden tärkein kuntotunnus (The Programme Coordinating... 1994).

Latvuksen tuuheuteen vaikuttavat oksien haaromistapa, neulasten koko ja lukumäärä (Hanisch ja Kilz 1990). Viimeksimainittu on seurausta syntyvien ja kuolevien neulasten suhteesta. Neulasten varisu on luonnollinen tapahtuma, joka mahdollistaa yhteyttävän biomassan uudistumisen latvuksessa. Kuusesta varisee neulasia ympäri vuoden, eniten kevättalvella ja myöhäissyksyllä. Uusia neulasia syntyy vuosittain oksien kärkiin kasvaviin vuosikasvaimiin (kuva 60). Kuusen neulasten elinikä riippuu mm. puun perinnöllisistä ominaisuuksista ja iästä, kasvupaikasta sekä ennen kaikkea maantieteellisestä sijainnista. Kuusella kuten muillakin havupuulajeilla neulasten ikä kasvaa pohjoista kohden ja siirryttäessä merenpinnasta ylöspäin. Neulasten keskimääräinen ikä oli Pohjanmaan rannikolla ja saaristossa kasvavissa kuusikoissa 7,7 vuotta ja Västerbottenin rannikolla 9,4 vuotta (kuva 61).

Useat tekijät lyhentävät neulasten elinikää, mikä näkyy neulasten ennen aikaisena varisuna ja johtaa latvuksen harsuuntumiseen (Jalkanen 1995). Tällaisia tekijöitä ovat puiden ikääntyminen, kasvupaikan ravinteisuus, ilmasto- ja sääolot sekä sieni- ja hyönteistuhot. Ikivihreät neulasat altistuvat luonnon stressitekijöiden lisäksi ilman epäpuhtauksille vuoden ympäri, mikä nopeuttaa neulasten vanhenemista. Harsuuntuminen voi olla palautumaton tai ohimenevä reaktio muuttuneisiin oloihin. Puilla on säätelymekanismi, joka mahdollistaa ylimääräisten neulasten karistamisen epäsuotuisissa oloissa, esim. kuivuuden tai ravinnepuutosten seurauksena. Hyväkuntoiset puut kykenevät palauttamaan neulasmassan entiselleen stressin poistuttua. Huo-

Kuusen neulasvuosikerrat - Granens barrårgångar



**Kuva 60.** Samana kesänä kasvaneet neulasat muodostavat neulasvuosikerran. Oksan pääranka kasvaa pituutta ja sen hankasilmuista syntyy sivuhaaroja. Neulasvuosikerrat voidaan erottaa oksan haarautumisen ja silmusuomujen jäänteiden avulla. Vuosikasvaimien keskiosiin syntyvät väliversot, leposilmuista syntyneet versot sekä kärkisilmujen "jurominen" vaikeuttavat oksien iän määrittystä. Kuvaa on yksinkertaistettu siten, että väliversoja ei ole piirretty näkyviin.

**Figur 60.** Barr som bildats samma sommar bildar en barrårgång. Granens huvudskott står för längdtillväxt och axillärknopparna ger upphov till sidogrenar. Varje årsskott kan åtskiljas med hjälp av förgrening och resterna av knoppfjäll på grenen. På gamla eller svagt växande träd försvåras åldersbestämningen av små och uteblivna årsskott eller sidogrenar. Bilden är förenklad så att småskotten inte ritats ut.

nokuntoisilla puilla ylimääräinen neulaskato voi laukaista kehityskulun, joka johtaa vähitellen kasvun hidastumiseen, tuhonkestävyyden heikentymiseen ja puun elinvoimaisuuden alentumiseen. Elinvoimaisuus määritellään usein puiden kykyä pysyä elossa, kasvaa iänmukaisesti ja tuottaa itämiskykyisiä siemeniä (Andersson 1995).

## Kuusikoiden kunto 1992–94

Merenkurkun kuusikoiden kunto arvioitiin Suomen puolella vuosina 1992, 1993 ja 1994 ja Ruotsin

## Kronan som mått på trädens vitalitet

De viktigaste livsfunktionerna hos barrträden, assimilation och respiration, sker i barren. Trädets krona, stam och rötter bildar en funktionell helhet. Mängden barr påverkar därför bl.a. upptaget av vatten och näring, lagring av assimilationsprodukter och trädets tillväxt. Sålunda förutsätter hela trädets välmående att barren är friska. Trädkronornas utglesning och dess variation används därför ofta som mått för skogarnas hälsotillstånd. Det allmän-europeiska programmet för uppföljning av skogarnas vitalitet använder utglesningen som det viktigaste kännetecknet vid sidan av barrmissfärgning (The Programme Coordinating... 1994).

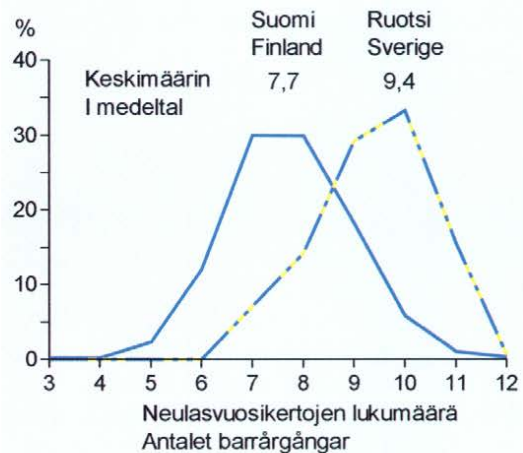
Kronans yvighet påverkas av förgreningssätt, barrenns storlek och mängd (Hanisch och Kilz 1990). Den sistnämnda är en följd av förhållandet mellan de barr som bildas och de som dör. Att barr faller av är en naturlig process som gör det möjligt för den assimilerande biomassan att förnygras. Granen faller barr året runt, mest på vårvintern och senhösten. Nya barr växer årligen ut på nya årsskott i grenarnas toppar (figur 60). Granbarrens livslängd beror bl.a. på trädets ärftliga egenskaper samt ålder, ståndort och framför allt det geografiska läget. Ju längre norrut och högre över havet man kommer, desto längre sitter barren kvar. Den genomsnittliga åldern på barren var i granskogarna i Österbottens kustområde 7,7 år och i Västerbottens kustland 9,4 år (figur 61).

Ett flertal faktorer kan göra att barren får en kortare livslängd, vilket syns i att barren fälls tidigare och leder till att kronan glesnar ut (Jalkanen 1995). Sådana faktorer är bl.a. trädens åldrande, näringssituation på ståndorten, klimat- och väderförhållanden samt svamp- och insektskadorna. De ständigt gröna barren drabbas inte bara av naturliga stressfaktorer utan också av luftens föroreningar året runt, vilket gör att åldrandet går snabbare. Utglesningen kan vara en tillfällig reaktion på förändrade förhållanden eller ett långvarigt tillstånd som inte återställs. Träden innehar en regleringsmekanism som gör det möjligt att fälla extra barr under ogynnsamma omständigheter, t.ex. till följd av torka eller näringsbrist. Träd i god kondition kan återupprätta barrmassan efter stressen, men hos träd i dålig kondition kan extra barrförluster få till stånd en utvecklingsprocess, som

småningom leder till att tillväxten minskar, härdigheten för skador försämras och vitaliteten minskar. Vitaliteten definieras ofta som trädets förmåga att överleva, tillväxa normalt och producera grobart frö (Andersson 1995).

## Granskogarnas tillstånd 1992–94

Föreliggande arbete utfördes på den finska sidan åren 1992, 1993 och 1994, samt på den svenska sidan 1993 och 1994. I Finland studerades 12 provtytor i unga granskogar (30–59 år), 11 medelålders (60–89 år) och 10 gamla (90–119 år). På den svenska sidan saknas den yngsta åldersklassen helt. Medelålders granskogar representeras av 6 och gamla av 7 provtytor. Därtill finns det 4 provtytor med en beståndsålder på över 120 år. I Finland jämfördes resultaten från Kvarken med Skogsforskningsinstitutets årliga kartläggning av skogarnas vitalitet. Som jämförelsematerial valdes granskogar i samma ålder och på likadana ståndorter i södra Finland (området söder om Uleåborg). För Sveriges del utgörs jämförelsematerialet av



**Kuva 61.** Neulasvuosikertojen runsausjakaumat (%) ja keskiarvot Suomen ja Ruotsin havaintokuusikoissa vuonna 1994.

**Figur 61.** Frekvensen (%) och medeltalet av antalet barrårgångar hos de observerade granarna i Finland och Sverige år 1994.

puolella 1993 ja 1994. Suomessa 12 havaintomet-sikköä edustaa nuoria kuusikoita (30–59 v), 11 keski-ikäisiä (60–89 v) ja 10 vanhoja (90–119 v). Ruotsin puolella nuorin ikäluokka puuttuu kokoaan. Keski-ikäisiä kuusikoita on kuusi ja vanhoja seitsemän. Yli 120-vuotiaita havaintokuusikoita on Ruotsissa neljä kappaletta. Merenkurkun tuloksia verrattiin Suomessa Metsäntutkimuslaitoksen vuotuisen metsien elinvoimaisuuden kartoitukseen. Vertailuaineistoksi valittiin Etelä-Suomen (Oulun eteläpuolinen osa) samanikäisiä ja samanlaisilla kasvupaikoilla kasvavia kuusimetsiä. Ruotsin osalta vertailuaineistona käytetään Västerbottenin läänin rannikon valtakunnan metsien inventoinnin havaintoaloja (kolmen vuoden keskiarvo 1991–93). Aineiston pienuus varsinkin Ruotsin puolella rajoittaa vertailujen tekoa.

Harsuuntuneisuus ja neulasten väriviat arvioitiin vallitsevan latvuserroksen kuusista (ylispuut, valtapuut ja lisävaltapuut). Arviointi tehtiin elävän latvuksen yläpuoliskosta silmävaraisesti kiikaria käyttäen. Harsuuntuneisuus ilmaistaan suhteellisenä neulaskatona verrattuna samalla kasvupaikalla kasvavaan todelliseen tai kuviteltuun samanikäiseen täysneulaselliseen puuhun. Värivikaisten neulasten runsaus määritetään niiden osuutena ylälatvuksen neulasmassasta. Silmävaraiset arviointitunnukset ovat aina subjektiivisia ja alttiita erilaisille virhelähteille. Merenkurkun alueella arvioinnit suoritettiin sama havainnoitsija vuodesta 1993 lähtien, mikä pienentää henkilöstä johtuvaa arviointivirhettä. Välillistä tietoa metsäekosysteemin tilasta saatiin tutkimalla nuorien kuusien värioireita ja neulasten pinnalla kasvavan viherlevän yleisyyttä.

## Harsuuntuneisuus voimakkainta Pohjanmaalla

Samanikäisiä metsiä tarkasteltaessa Merenkurkun suomenpuoleiset kuusikot olivat harsuuntuneempia ja värivikaisempia kuin ruotsinpuoleiset (kuva 62). Pohjoismaissa yli 20 %:n neulaskadolla katsotaan olevan vaikutusta puiden elinvoimaisuuteen. Vuonna 1994 tällaisia kuusia ikäluokassa 60–89 v oli Suomen puolella 38 % ja Ruotsin puolella 17 %. Vastaavat osuudet ikäluokassa 90–119 v olivat 73 % ja 31 %. Jos koko aineistoa tarkastellaan ilman ikäluokkaositteita, Ruotsin puolella harsuuntuneita kuusia oli 36 % ja Suomen puolella 35 %.

Harsuuntumisen muutokset tutkimuskaudella olivat vähäisiä. Molemmista maista harsuuntuneiden kuusien osuus lievästi väheni, ja sama suuntaus näkyi myös alueellisesti laajemmissa aineistoissa. Metsikön ikä oli selvin taustatekijä kuusikoiden harsuuntumiselle molemmista maista. Suomessa latvuksien harsuuntuminen alkoi nuoremmista kuusikoissa kuin Ruotsissa.

Merenkurkun alueella kuusen harsuuntuminen oli pääasiassa "ikkunatyypistä", jolloin latvuksen yläosaan syntyy neulaseton aukko. Harsuuntumisen edetessä aukko laajenee.

Värivikaiseksi puu luokitellaan, jos yli 10 % neulasista on oireellisia. Molemmilla puolilla Merenkurkua tällaisia kuusia oli noin 5 %. Myös väriviat keskittyivät ylälatvukseen, kuitenkin siten että latvan kärki säilyi vihreänä.

## Kuusikot Vaasan läänin rannikolla

Vaasan läänin rannikolla ja saaristossa kuusikot olivat huonokuntoisempia kuin muualla Etelä-Suomessa (kuva 62). Tutkitulla alueella harsuuntuneita kuusia oli 35 % ja Etelä-Suomen mustikkatyyppin metsissä 31 % vertailtaessa saman ikäisiä metsiä vuonna 1994. Merenkurkun alueella kuusien harsuuntuminen alkoi nuoremmista, 50–60-vuotiaassa metsissä, ja latvukset rapistuiivat iän myötä nopeammin kuin vertailuaineistossa. Pohjanmaan rannikolla myös kuusikoiden kasvu taantuu puuston vanhetessa nopeammin kuin muualla Etelä-Suomessa (ks. luku "Kuusikoiden kasvu", kuva 45a). Vanhoissa metsissä yli puolet kuusista oli menettänyt kolmanneksen neulasistaan. Latvukseen ja oksiin kohdistuneita vaurioita kuten kuolleita oksia, latvan vaihtoja tai monilatvaisuutta kirjattiin lähes 60 %:lla kuusista. Lieviä värioireita havaittiin 8 %:lla ja voimakkaita 5 %:lla kuusista. Värioireet näkyivät vanhempien neulasten kellastumisena ja keltakärkisyytenä. Myös nuorilla alikasvoskuusilla havaittiin värioireita yli puolella tutkituista havaintokuusikoista. Harsuuntuneimmat ja värivikaisimmat kuusikot kasvoivat Kokkolan, Raippaluodon ja Suupohjan alueilla (kuvat 63 ja 64).

Nuorten kuusien neulasilla kasvoi yleisesti leväpeitettä (kuva 65), joka usein indikoi typpilaskeumaa esimerkiksi turkistarhojen läheisyydessä tai peltojen reunametsissä (Göransson 1990). Epifytyttiset levät viihtyvät myös mereisessä ilmas-

Riksskogstaxeringens resultat från Västerbottens läns kustområde (3 års medeltal 1991–93). Undersökningens omfattning är för liten till långtgående jämförelser, i synnerhet på svenska sidan.

Utglesning och missfärgning bedömdes på granarna i det härskande kronskiktet (överståndare, härskande träd och medhärskande träd). Bedömningen utfördes okulärt med hjälp av kikare och gjordes på den levande kronans övre hälft. Utglesningen uttrycks som relativ barrförlust i jämförelse med ett verkligt eller föreställt träd med fullständig barrmassa på samma ståndort. De missfärgade barrrens andel i den övre gröna kronans barrmassa bedömdes också. Okulär bedömning är subjektiv och befattad med olika fel. Inom Kvarkenregionen utfördes bedömningarna av samma taxerare ända från år 1993, vilket ökar tillförlitligheten vid jämförelser inom undersökningen. Indirekta uppgifter om skogsekosystemets tillstånd erhöles genom att även undersöka barrmissfärgningen hos unga granar, samt förekomsten av grönalger på barrytan.

## Utglesningen större i Österbotten

Granskog i motsvarande ålder uppvisade större utglesning och barrmissfärgning på den finska sidan om Kvarken än på den svenska sidan (figur 62). I de nordiska länderna anser man att trädets vitalitet är påverkad då barrförlusten är mer än 20 %. År 1994 uppgick andelen sådana granar i åldersklass 60–89 år på den finska sidan till 38 %

och på den svenska till 17 %. Motsvarande andelar uppgick i åldersklass 90–119 år till 73 % resp. 31 %. Om hela materialet granskas utan indelning i åldersklasser, så uppgår andelen över 20 % utglesade granar på den svenska sidan till 36 % och på den finska till 35 %. Förändringarna i utglesningen var små under forskningsperioden. I båda länderna minskade andelen utglesade granar under forskningsperioden något. Samma trend syntes även i regionala mera omfattande studier. Beståndets ålder var den tydligaste bakgrundsfaktorn för granskogarnas utglesning i båda länderna. I Finland började kronutglesningen i granskogarna vid lägre ålder än i Sverige.

Inom Kvarkenregionen var granens utglesning huvudsakligen av "fönstertyp", vilket innebär att det uppstår en barrfri lucka i den övre delen av trädkronan. När utglesningen ökar, utvidgas luckan uppåt och nedåt samt mot kvistarnas toppar. Trädet betraktas som missfärgat om över 10 % av barren uppvisar färgförändringar. På båda sidorna om Kvarken uppvisade ca 5 % av granarna färgförändringar. Dessa förändringar förekom mest i den övre delen av kronan, dock utan att toppen påverkades.

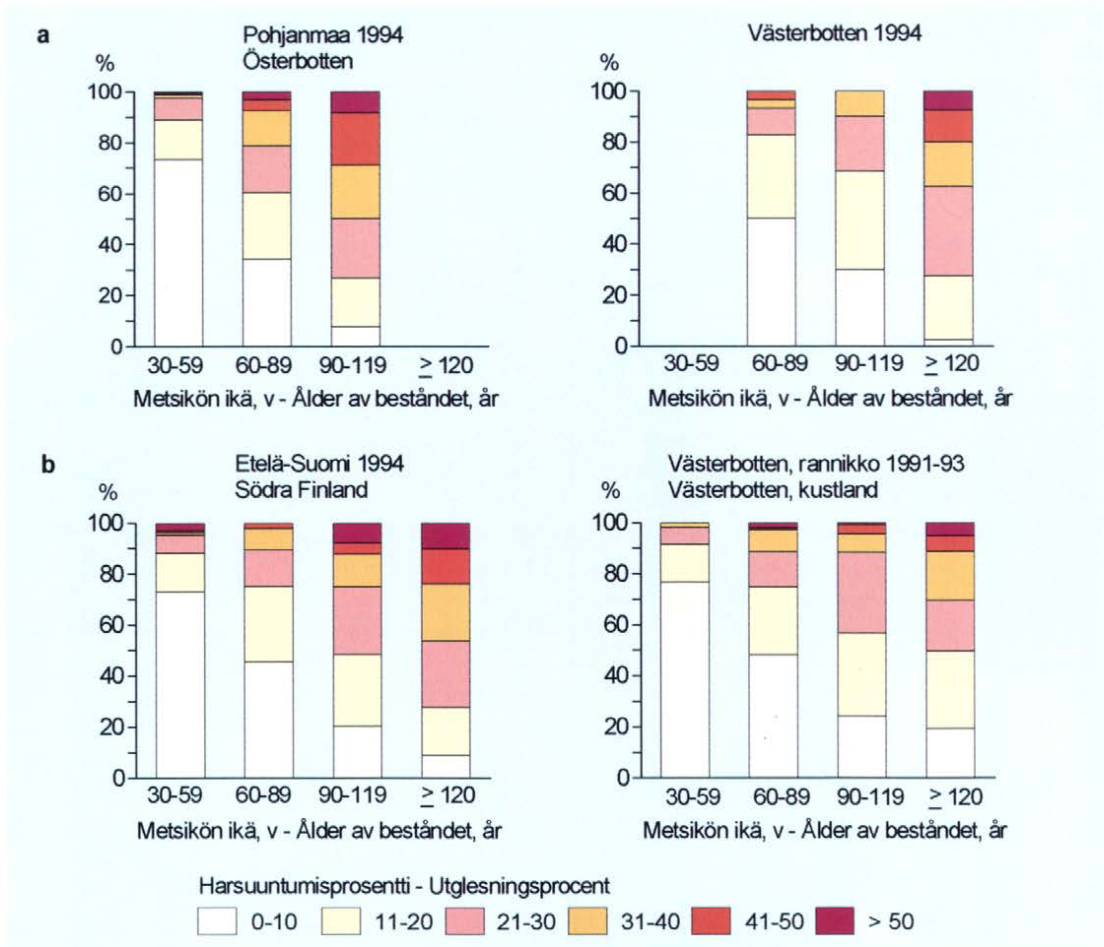
## Granskogarna i Vasa läns kustområde

I Vasa läns kustområde var granskogarna i sämre skick än i södra Finland i övrigt (figur 62). I undersökningen var 35 % av granarna utglesade, medan motsvarande andel i skogarna av blåbärstyp i södra

*Maaliskuisen myrskyn jäljiltä hangelle varisseita kuusen neulasia ja oksia Raippaluodon Norra Vallgrundissa. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Granbarr och kvistar på en snödriva efter en storm i mars vid Norra Vallgrund på Replot. Foto: Erkki Oksanen.*





**Kuva 62a–b.** Kuusen harsuuntumisjakaumat eri-ikäisissä metsissä Merenkurkun alueella (a) ja vertailu-alueilla (b).

**Figur 62a–b.** Kronutglesningen i Kvarkenregionen (a) och i referensområdena (b), fördelat på åldersklasser.

tossa. Vähäistä leväpeitettä havaittiin 41 %:lla ja runsasta 47 %:lla havaintokuusikoista.

Harsuuntuneilla ja värivikaisilla kuusilla havaittiin alhaisia neulasten typpi- ja kuparipitoisuuksia. Latvuksien huonokuntoisuuden ja ravinnepuutoksien yhteys oli voimakkain vanhoissa kuusikoissa. Mitä vähemmän tyypeä oli humuksen orgaanisessa aineessa, sitä suurempi osa havaintokuusikon puista oli harsuuntunut. Harsuuntuneiden kuusien booripitoisuudet olivat puolestaan korkeat. Boorin kertyminen jäljellejääviin neulasiin latvuksen supistumisen seurauksena on havaittu myös männylä (Nuorteva ja Kurkela 1993).

Neulasten solurakennetutkimuksissa terveiden solulimojen osuuden havaittiin olevan sitä pienem-

pi mitä harsuuntuneempia ja värivikaisempia kuusikot olivat. Neulasten värivikaisuuden ja rikki-diksidia indikoivien soluoireiden (tumma solulima ja nauhamainen tanniini, ks. Neulasten solurakenne tässä julkaisussa) välillä todettiin lievää yhteisvaihtelua.

### Kuusikot Västerbottenin rannikolla

Valtakunnan metsien inventoinnin mukaan Västerbottenin läänin rannikolla oli 32 % sellaisia kuusia, jotka olivat menettäneet yli 20 % neulasiä jaksolla 1991–93. Myös muualla Keski-Ruotsin rannikkoalueilla kuusikoiden harsuuntuminen oli lähellä

Finland var 31 %. Detta gällde skogar i samma ålder år 1994. I Kvarkenregionen började utglesningen i yngre, 50–60-åriga skogar, och kronorna utglesades med åldern snabbare än i referensområdena. Vid Österbottens kust stagnerar granens utveckling vid lägre ålder än annorstädes i södra Finland (se kapitel "Granskogarnas tillväxt", figur 45a). I gamla skogar hade över hälften av granarna förlorat en tredjedel av sina barr. Kron- och grenskador, t.ex. döda grenar, nya toppskott efter att de gamla blivit skadade samt många toppskott, registrerades hos nästan 60 % av granarna. Lindrig barrmissfärgning observerades hos 8 % och stark hos 5 % av granarna. Missfärgningen berörde äldre barr vilka var gula eller hade gul spets. Även de unga underväxtgranarna uppvisade missfärgning på över hälften av de undersökta ytorna. De mest utglesade och missfärgade granskogarna växte i Karleby-, Replot- och Sydösterbottenregionen (figurer 63 och 64).

Alger förekom allmänt på de unga granarnas barr (figur 65), vilket indikerar stort kvävenedfall, som t.ex. i närheten av pälsfarmer eller i närheten av åkrar (Göransson 1990). De epifytiska algerna gynnas också av det maritima klimatet. Liten algpåväxt konstaterades på 41 % och riklig på 47 %

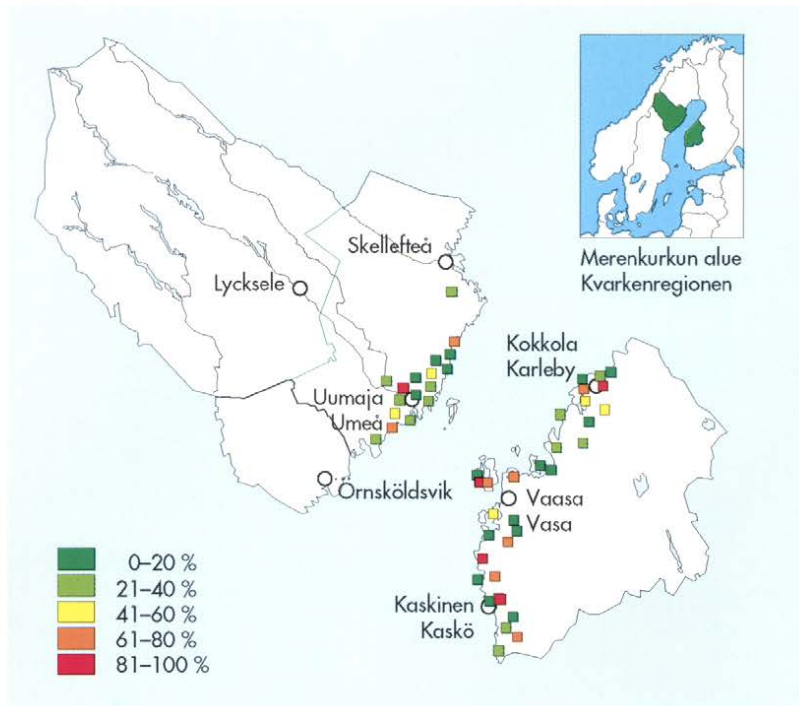
av provytorna.

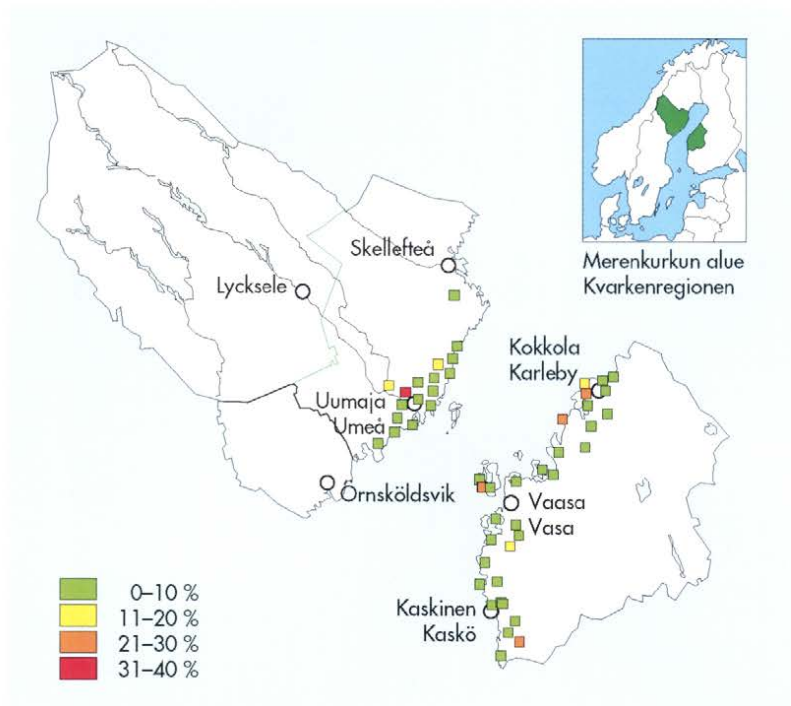
De utglesade och missfärgade granarnas barr uppvisade låga kväve- och kopparhalter. Sambandet mellan kronutglesning och näringsbrist var starkast i de äldre granskogarna. Ju mindre kvävehalten i humusens organiska material var, desto större var andelen utglesade träd på provytan. De utglesade granarnas borhalter var däremot höga. Att bor samlas upp i de kvarblivande barren till följd av kronans utglesning har iakttagits också hos tall (Nuorteva och Kurkela 1993).

Vid strukturundersökningar av cellerna observerades att andelen friska cytoplasmor var mindre ju mer utglesade och missfärgade granbestånden var. Missfärgade barr uppvisade också svaga symptom som indikerar påverkan av svaveldioxid, se även kapitel "Granbarrens cellstruktur".

### Granskogarna i Västerbottens kustland

Enligt Riksskogstaxeringen uppvisade 32 % av granarna i Västerbottens läns kustregion vid perioden 1991–93 en utglesningsgrad på över 20 %. Även i kustregionen i mellersta Sverige i övrigt var granskogarnas utglesning nära denna nivå. Av





**Kuva 64.** Värivikaisten kuusien osuus havaintokuusikoissa vuonna 1994.

**Figur 64.** Andel granar med barmmissfärgning på provytorna år 1994.

tätä tasoa. Västerbottenin rannikon 17 havaintokuusikkoa edustavat melko hyvin keskimääräistä tilannetta, sillä vuonna 1994 harsuuntuneita kuusia oli 36 %. Vain vanhimmat tutkimuskohteena olleet kuusikot olivat harsuuntuneempia kuin vertailualueella (kuva 62). Västerbottenin läänin tunturi-alueella (lappmarken) kasvavien kuusien harsuuntumisasteet olivat korkeammat kuin rannikolla.

Vanhat kuusikot olivat myös Västerbottenin rannikolla harsuuntuneempia kuin nuoret (kuva 62). Puiden ikääntymisestä johtuva harsuuntuminen voimistui kuitenkin myöhemmin kuin Suomen puolella. Erilaisia latvustuhoja kirjattiin Västerbottenin rannikon havaintokuusikoissa 70 %:lla kuusista. Neulaskadon lisäksi ne näkyivät kuolleina oksina ja latvan vaihtoina. Vuonna 1994 ruoste-

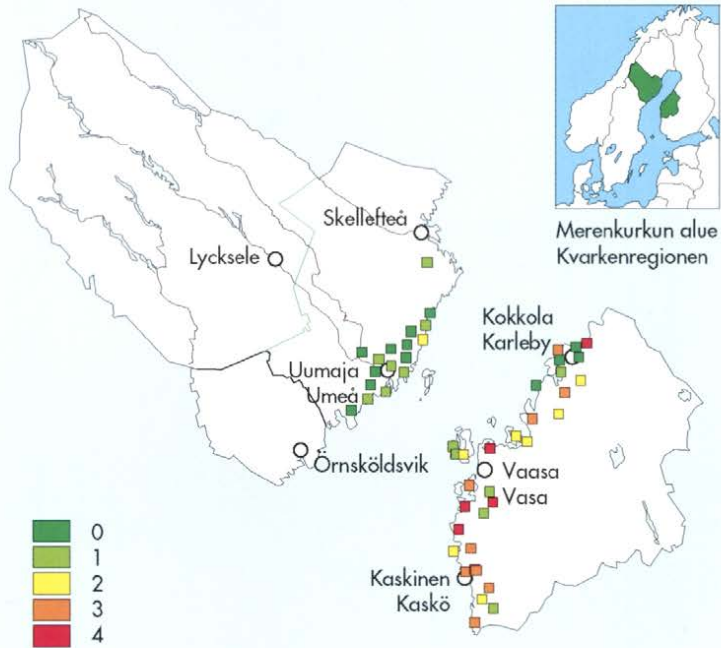
sieniepidemia lisäsi värivikaisten neulasten määrää.

Viherlevän esiintyminen nuorien kuusien neulasilla oli harvinaisempaa kuin Suomen puolella (kuva 63). Tämä saattaa johtua maatalouden ja turkistarhauksen pienemmästä intensiteetistä Västerbottenin puolella kuin Pohjanmaalla. Myös ilmastotekijät ovat erilaiset Ruotsin puolella.

Mitä harsuuntuneempia ja värivikaisempia kuusikot olivat sen alhaisempia neulasten magnesiumipitoisuuksia niissä tavattiin. Myös terveiden solulimojen osuudet olivat tällaisissa kuusikoissa pienemmät kuin parempikuntoisissa kuusikoissa. Neulasten värivikojen havaittiin korreloivan lisäksi alhaisten typpipitoisuuksien kanssa.

**Kuva 65.** Viherlevän runsaus nuorien kuusien neulasilla. 0 = ei leväpeitettyä, 1 = niukasti muutamilla kuusilla, 2 = niukasti useilla kuusilla, 3 = runsaasti muutamilla kuusilla, 4 = runsaasti useilla kuusilla.

**Figur 65.** Grönalgbeläggning på unga underväxtgranar. 0 = alger saknas, 1 = lite på enstaka granar, 2 = lite på flera granar, 3 = rikligt på enstaka granar, 4 = rikligt på flera granar.



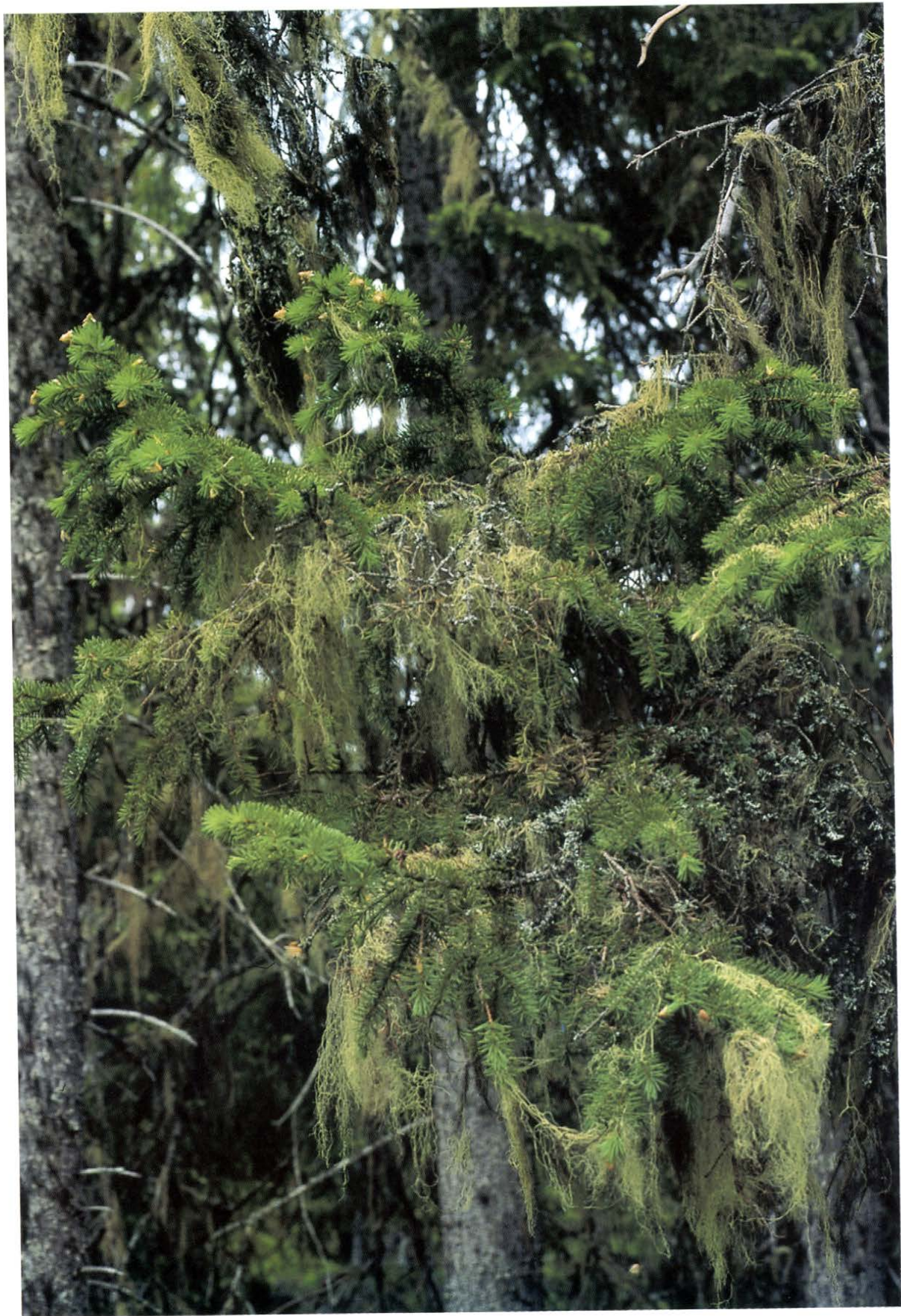
de undersökta granarna på projektets 17 provtytor hade 36 % mer än 20 % utglesning år 1994. Bara de äldsta undersökta granbestånden var mera utglesade än granskogarna i jämförelsematerialet (figur 62). I Västerbottens läns lappmark förekom högre utglesningsnivåer än i kustlandet.

De gamla granskogarna var även i Västerbottens kustland mera utglesade än de yngre (figur 62). Utglesningen som beror på trädens åldrande kom i ett senare skede av trädens utveckling än vad fallet var i Finland. Olika typer av kronskador registrerades hos 70 % av granarna. Området drabbades av skvattramrost år 1994 vilket ökade

mängden av missfärgade barr.

Grönalger på unga granars barr var ovanligare i Sverige än på den finska sidan (figur 63). Detta kan förklaras av att ingen av provtytor var belägen i närheten av lantbruk eller pälsfarmer. Även klimatfaktorerna är annorlunda på den svenska sidan.

Ju mera utglesade och missfärgade granbestånden var, desto lägre halter av magnesium fanns i barr. Även andelen friska cytoplasmor var mindre i granbestånd med stor utglesning. Barrmissfärgade bestånd uppvisade också låga kvävehalter.



## YHTEENVETO SAMMANFATTNING

Hannu Raitio, Päivi Merilä & Svante Lindroth

*Merenkurkun alueen kuusten kasvun taso ei ole viimeisten vuosikymmenien aikana sanottavasti muuttunut ja kasvunvaihtelu oli hyvin samanlaista molemmin puolin Merenkurkkua. Pohjanmaan rannikolla kuusikoiden kehitys taantuu kuitenkin puuston vanhetessa nopeammin kuin muualla Etelä-Suomessa. Pohjanmaalla kuusikot ovat myös harsuuntuneempia ja värivikaisempia kuin samanikäiset ja samantyyppisillä kasvupaikoilla kasvavat kuusikot Etelä-Suomessa tai Västerbottenin rannikolla. Juurilaho, tuuli- ja myrskytuhot sekä alhaiset neulasten ravinnepitoisuudet olivat myös yleisiä Merenkurkkun molemmin puolin. On ilmeistä, että Pohjanmaan rannikolla kuusikoiden vesi- ja ravinnetalouden häiriöistä seuraa metsiköiden ennenaikainen harsuuntuminen ja sen seurauksena iän myötä tapahtuva normaalia voimakkaampi kasvun taantuminen.*

*Vaikka Merenkurkun kuusikoissa havaittiin merkkejä ilman epäpuhtauksista mm. neulasten soluvaurioita, on ilmeistä, että niiden vaikutukset kuusikoiden kuntoon ja kasvuun ovat luontaisten ympäristötekijöiden vaikutuksia vähäisempiä, koska kuusikoiden huonokuntoisuus on tiedostettu jo vuosikymmeniä. Toisaalta on kuitenkin muistettava, että ilman epäpuhtaudet aiheuttavat puiden vesi- ja ravinnetalouden häiriöitä, joista Merenkurkun alueen kuusikot kärsivät jo luontaisesti.*

*Granens tillväxtnivå har inte förändrats i Kvarkenregionen på något avgörande sätt under de senaste årtiondena och den årliga tillväxtvariationen var mycket likartad på bägge sidor av Kvarken. Vid Österbottens kust stagnerar granens utveckling dock något kraftigare med ökande ålder än annorstädes i södra Finland. I Österbotten är granskogarna också mera utglesade och missfärgade än granskogarna av samma ålder belägna på likartade växtplatser i södra Finland eller i Västerbottens kustland. Rotröta, vind- och stormskador samt låg näringshalt i barren är även vanliga på bägge sidor om Kvarken. Det är uppenbart att störningarna i vatten- och näringshushållningen i granbestånden vid Österbottens kust leder till för tidig kronutglesning och en tillväxt som stagnerar kraftigare än normalt med ökad ålder.*

*Fastän man i Kvarkens granskogar märkt påverkan av luftföroreningar bland annat i form av cellskador i barren, är det klart att deras inverkan på granbeståndens hälsotillstånd och tillväxt är mindre än inverkan av de naturliga miljöfaktorerna, eftersom granbeståndens dåliga hälsotillstånd har varit ett känt faktum under årtionden. Å andra sidan bör man komma ihåg att luftföroreningarna förorsakar problem i granarnas vatten- och näringshushållning, där de redan är utsatta för naturliga påfrestningar.*

*Ilman epäpuhtauksille herkkiä loppoja ja naavoja löytyy vielä Merenkurkun vanhoista kuusikoista. Kuva Norra Vallgrundista Raippaluodosta. Kuva: Erkki Oksanen.*

*I Kvarkenområdets gamla granbestånd finns ännu tagel- och skägglav vilka är känsliga för luftföroreningar. Foto från Norra Vallgrund på Replot. Foto: Erkki Oksanen.*

## Kolmivuotinen tutkimusprojekti

Merenkurkun neuvoston sekä Vaasan ja Västerbottenin lääninhallitusten aloitteesta perustettiin vuonna 1992 kolmivuotinen tutkimusprojekti "Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden terveydentila". Projektin tavoitteena oli kartoittaa kuusikoiden kunto ja tarkastella puiden kunnon ja paikallisten ympäristöolojen keskinäisiä vuoro-suhteita Vaasan ja Västerbottenin läänien rannikolla. Projektin tutkimustyöstä vastasivat Ruotsin maatalousyliopiston metsänarvioimistieteen laitos, Metsäntutkimuslaitos sekä Vaasan ja Kokkolan vesi- ja ympäristöpiirit. Hankkeeseen osallistuivat lisäksi Vaasan ja Västerbottenin lääninhallitusten ympäristöosastot.

## Kuusikoiden kunto

Kaikkialla Merenkurkun alueella kuusikot ovat varsin vanhoja. Suomen puolella tähän on synyn lähinnä vähäiset hakkuut ja Ruotsin puolella männy suosituminen metsänhoidossa. Kuusikoiden kasvun taso ei ole viimeisten vuosikymmenten

aikana sanottavasti muuttunut ja kasvunvaihtelu oli hyvin samanlaista Merenkurkun molemmilla puolilla. Pohjanmaan rannikolla kuusikoiden kasvu taantuu puuston vanhetessa nopeammin kuin muualla Etelä-Suomessa, mistä syystä puuntuotuskyky Pohjanmaan rannikolla on heikompi kuin esimerkiksi Keski-Suomessa. Västerbottenin läänissä tilanne on päinvastainen: kasvuolot ovat epäedullisemmat sisämaassa kuin rannikolla.

Suomen puolella Merenkurkkua kuusikot olivat harsuuntuneempia ja värivikaisempia kuin vastaavilla kasvupaikoilla muualla Etelä-Suomessa. Sen sijaan Västerbottenin läänin rannikolla kuusikoiden latvuskunto oli Keski-Ruotsin rannikon yleistasoa. Saman ikäluokan kuusikot olivat harsuuntuneempia Suomen kuin Ruotsin puolella. Suomen puolella Merenkurkkua kuusien harsuuntuminen alkaa nuoremmassa, 50–60-vuotiaissa metsissä ja latvukset rapistuvat iän myötä nopeammin kuin muualla Suomessa. Kaikkialla Merenkurkun alueella kuusten harsuuntuminen voimistui puiden ikäännyessä. Harsuuntuneimmat metsiköt kasvoivat myös heikoiten. Harsuuntuneissa ja värivikaisissa



*Tyypillinen eri-ikäisrakenteinen kuusikko Raippaluodon Norra Vallgrundissa. Kuva: Hannu Raitio.  
Ett typisk olikåldrat granbestånd vid Norra Vallgrund på Replot. Foto: Hannu Raitio.*

## Ett treårigt forskningsprojekt

På initiativ av Kvarkenrådet och länsstyrelserna i Vasa och Västerbotten inleddes år 1992 ett treårigt forskningsprojekt kallat "Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen". Projektets mål var att kartlägga granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen och att granska sambanden mellan trädens kondition och lokala miljöförhållanden. För det praktiska arbetet svarade institutionen för skogstaxering vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå samt Skogsforskningsinstitutet och Vasa och Karleby vatten- och miljödistrikt i Finland. Också miljöavdelningarna vid Vasa och Västerbottens länsstyrelser deltog i projektet.

## Granskogarnas hälsotillstånd

Överallt i Kvarkenregionen är granbestånden tämligen gamla. Orskaken till detta på den finska sidan är närmast den lägre avverkningen, och på den svenska sidan har tall gynnats i skogsskötseln. Granens tillväxt har inte förändrats nämvårt under de senaste årtiondena, och den årliga tillväxtvariationen är mycket likartad på bägge sidor av Kvarken. Vid Österbottens kust stagnerar granens utveckling något starkare med ökande ålder än annorstädes i södra Finland och produktionförmågan är därför lägre i Österbottens kustland än till exempel i mellersta Finland. I Västerbottens län är situationen den motsatta: tillväxtförhållandena är ogynnsammare i inlandet än vid kusten.

Granbestånden i Österbotten har större kronutglesning och mera missfärgning av barren än granskogen på motsvarande växtplatser i södra Finland. Vid Västerbottens kust är trädskronornas kondition däremot densamma som vid den mellansvenska kusten. Granbestånd i samma åldersklass har glesare kronor på den finska sidan än på den svenska. På den finska sidan av Kvarken började utglesningen i yngre, 50–60-åriga skogar, och kronorna utglesades snabbare än på annat håll i Finland. Överallt i Kvarkenregionen förstärks kronutglesningen när granarna blir äldre. Bestånden med störst kronutglesning har också lägre tillväxt. I granbestånd med glesa kronor och tydliga färgförändringar hittar man även mera cellskador än i bestånd med täta kronor. Röta och vind- och stormskador förekommer också i större utsträckning på

den finska sidan än på den svenska. I Finland påträffas även oftare barr med algpåväxt.

Undersökningarna visar att Kvarkenregionens granbestånd framför allt lider brist på kväve. Bristen är större i Västerbotten än i Vasa läns kustområde. Bestånden belägna på torvmark i Sverige utgör i detta avseende ett undantag, då barrrens kaliumkoncentration är låg i förhållande till kvävehalten. På den finska sidan är kopparhalten mycket låg i alla granbestånd. Svavelkoncentrationen i barr är i allmänhet högre på den finska sidan än på den svenska. Vid kusten och i skärgården i Österbotten är barrrens kväve- och kopparhalt lägre, medan koncentrationerna av bor är högre i gamla granbestånd än i yngre.

## Granbeståndens hälsotillstånd och miljöfaktorerna

I Österbottens kustland är granbestånden i sämre skick än på motsvarande växtplatser av samma ålder i södra Finland och i Västerbottens kustland. På den finska sidan av Kvarken har granbeståndens hälsotillstånd väckt uppmärksamhet redan flera årtionden (Appelroth 1948). Nuförtiden är forskarna ense om att skogarnas hälsotillstånd samtidigt påverkas av både naturliga faktorer och människans verksamhet. Under de senaste åren har man också allt bättre börjat förstå hur beståndens historia inverkar på hälsotillståndet (Hüttl och Schaaf 1995). Det är uppenbart att problem med vatten- och näringshushållning förorsakar kronutglesning och bidrar till en lägre produktionsnivå i granbestånden vid Österbottens kust.

Granbestånden i Kvarken präglas av att humuslagret är surt och har brist på viktiga näringsämnen och att det bryts ned långsamt. Därför lider granbestånden av brist speciellt på kväve. Denna brist är utpräglad i de gamla skogarna. Vid Österbottens kust är en större andel av beståndens trädskronor utglesade ju lägre kvävehalten i humustäckets organiska ämne är. I Västerbotten är situationen något annorlunda: ju mera utglesade kronorna är och ju mera färgförändringar de uppvisar, desto lägre är magnesiumhalterna. När växterna lider av brist på s.k. mobila näringsämnen (kväve, fosfor, kalium, magnesium) förflyttas dessa näringsämnen från

kuusikoissa tavattiin myös neulasten soluvaurioita enemmän kuin latvukseltaan terveemmissä kuusikoissa. Lahoja sekä tuuli- ja myrskytuhoja esiintyi runsaammin Suomen kuin Ruotsin puolella. Samoin leväpeitetä neulasten pinnalla tavattiin enemmän Suomen puolella.

Merenkurkun alueen kuusikot kärsivät etenkin typen niukkuudesta, joka on voimakkaampaa Västerbottenin kuin Vaasan läänin rannikolla. Poikkeuksen muodostavat Ruotsin puolen turvemaiden kuusikot, joissa neulasten kaliumpitoisuudet suhteessa typpipitoisuuksiin olivat alhaisia. Suomenpuoleisissa kuusikoissa neulasten kuparipitoisuudet olivat kaikkialla hyvin alhaiset. Neulasten rikkipitoisuudet olivat yleensä korkeampia Suomen kuin Ruotsin puolella. Pohjanmaan rannikon ja saariston vanhoissa kuusikoissa neulasten typpi- ja kuparipitoisuudet olivat alhaisempia ja booripitoisuudet korkeampia kuin nuorissa kuusikoissa.

## Kuusikoiden kunto ja ympäristötekijät

Pohjanmaan rannikon ja saariston kuusikot ovat huonokuntoisempia kuin samanikäiset ja samantyyppisillä kasvupaikoilla kasvavat kuusikot Etelä-Suomessa tai Västerbottenin rannikolla. Kuusikoiden kunto Suomen puolella Merenkurkkuun onkin herättänyt huomiota vuosikymmenet (Appelroth 1948). Nykyään tutkijat ovat varsin yksimielisiä siitä, että metsien terveydentilaan vaikuttavat samanaikaisesti sekä luontaiset tekijät että ihmisen toiminta. Viime vuosina on alettu yhä paremmin ymmärtää myös metsiköiden historian merkitys (Hüttel ja Schaaf 1995). On ilmeistä, että Pohjanmaan rannikolla kuusikoiden vesi- ja ravinnetalouden häiriöistä seuraa metsiköiden ennenaikainen harsuuntuminen ja sen seurauksena iän myötä normaalia voimakkaampi kasvun taantuminen.

Merenkurkun kuusikoille on ominaista humuksen happamuus, vähäravinteisuus ja heikko hajoaminen. Tästä syystä kuusikot kärsivät etenkin typen niukkuudesta. Typen niukkuus korostui vanhoissa metsissä. Pohjanmaan rannikolla sitä suurempi osa havaintokuusikon puista oli harsuuntunut mitä vähemmän tyyppä oli humuksen orgaanisessa aineksessa. Sen sijaan Västerbottenin puolella tilanne oli hieman toisenlainen: mitä harsuuntuneempia ja värivikaisempia kuusikot olivat, sitä alhaisempia

neulasten magnesiumpitoisuuksia niissä tavattiin. Kasvien kärsiessä niukkuutta nk. liikkuvista ravinteista (typpi, fosfori, kalium ja magnesium) siirtyy näitä ravinteita vanhemmista osista nuorempiin, kasvaviin kasvinosiin. Puilla tämä näkyy vanhempien neulasten ennenaikaisena varisemisena (Marschner 1995).

Vaikka kuusikoiden ravinnetilanne Västerbottenin puolella oli heikompi kuin Suomen puolella, siitä huolimatta kuusikot Ruotsin puolella olivat parempikuntoisia. Tämä selittynee osaltaan sillä, että Suomen puolella maat ovat hienojakoisempia kuin Västerbottenin puolella, mistä syystä soistuminen ja siitä aiheutuvat ongelmat ovat yleisempiä Pohjanmaalla kuin Ruotsin puolella. Soistumialtiutta lisäävät maankohoaminen sekä tasainen pinnanmuodostus.

Vaasan läänin rannikko ja saaristo on tunnetusti vähälumista aluetta (Solantie 1987). Tästä syystä Pohjanmaan rannikon kuusikoille ominaiset kiviset hietamoreenit routaantuvat vuosittain syvälle (Huttunen ja Soveri 1993). Soistuneilla kangasmailla routa säilyy myös keväällä pitkään, koska turpeen lämmönjohtavuus on pienempi ja lämpökapasiteetti suurempi kuin kivennäismaan (Soveri ja Varjo 1977).

Kuusikoiden ikääntyessä yhä suurempi osa lumesta pidätty latvuksiin (Yli-Vakkuri 1960), jolloin maa jää entistä paljaammaksi ja edellytykset routaantumiselle paranevat. Toisaalta keväällä tiheä kuusikko hidastaa maan lämpenemistä, koska vain osa auringon säteilystä pääsee maahan saakka. Keväällä rannikolla kylmä meri hidastaa myös ilman ja sen myötä maaperän lämpenemistä. Samanaikaisesti Vaasan läänin rannikko on hyvin aurinkoinen ja tuulinen. Tällöin puut eivät saa riittävästi vettä maasta. Haihdunnan vähentämiseksi puut vähentävät haihduttavaa pinta-alaa (Kramer ja Kozlowski 1979), mikä näkyy puiden ennenaikaisena harsuuntumisena.

Kuusikoiden humuksen happamuuteen, vähäravinteisuuteen ja heikkoon hajoamiseen vaikuttavat epäedullisten lämpö- ja vesiolojen lisäksi omalta osaltaan puusukupolvesta toiseen jatkunut kuusivaltaisuus ja metsäpalojen harvinaisuus. Tärkeä merkitys on maankohoamisen seurauksena tapahtuvilla maaperän fysikaalis-kemiallisilla muutoksilla. Appelroth (1948) on esittänyt maankohoamisen myötä tapahtuvan pohjavesipinnan alenemisen heikentävän vähitellen kuusikoiden vilja-

gamla växtdelar till nya, växande delar. Som en följd av detta faller träden sina äldsta barr i förtid (Marschner 1995).

Fast granskogarnas näringssituation på Västerbottens sida är sämre än på den finska sidan, är granskogen ändå i bättre kondition på den svenska sidan. Detta torde kunna för sin del förklaras med förekomsten av mera finkorniga marker på den finska sidan än i Västerbotten, vilket gör att de problem som är förknippade med försumpning är vanligare i Österbotten än på den svenska sidan. Tendensen till försumpning förstärks av landhöjning och jämn topografi.

Vasa läns skärgård och kust är som bekant ett snöfattigt område (Solantie 1987). Därför går tjälen djupt ned i de steniga finsandsmoränerna som är typiska för granskog vid Österbottens kust (Huttunen och Soveri 1993). På försumpade momarker hålls tjälen även kvar längre på våren, eftersom torvens värmeledningsförmåga är sämre och värmekapaciteten är större än mineraljordens (Soveri och Varjo 1977).

När granbestånden blir äldre fastnar en större del av snön i krontäcket (Yli-Vakkuri 1960), varvid marken förblir bar och förutsättningarna för tjälbildning ökar. Vidare hindrar ett tätt granbestånd solstrålningen att nå marken, varför den värms upp långsamt på våren. Vid kusten gör det avkylande havet även att luft och mark värms upp långsamt på våren. Samtidigt är Vasa läns kustområde mycket soligt och blåsigt. Under dessa förhållanden kan träden inte ta upp tillräckligt med vatten med sina rötter. För att minska avdunstningen faller då träden sina äldsta barr i förtid (Kramer och Kozlowski 1979).

Surheten, den knappa näringstillgången och den svaga nedbrytningen i granbeståndens humuslager påverkas förutom av ofördelaktiga värme- och fuktighetsförhållanden också av att gran vuxit på samma plats under flera på varandra följande generationer och av att skogsbränder är sällsynta nuförtiden.

Man bör inte heller glömma bort de fysikaliska och kemiska förändringar som är följder av landhöjningen. Appelroth (1948) hävdar att grundvattnivån sjunker i samma takt som markhöjningen framskrider och minskar bördigheten i granbestånden. Den iakttagna försumpningen strider mot den uppfattningen.

Vid högre ålder drabbas Kvarkenområdets

granbestånd av olika skadeinsekter och röta, i större utsträckning på den finska sidan än på den svenska. Att rottröten är så vanlig torde vara en följd av kustområdets vindförhållanden och markens stenighet. När vinden får träden att svaja skadas deras rötter och rötsvamparna kommer åt att angripa (Hintikka 1972).

I de undersökta granbestånden hittade man även påverkan av luftföroreningar. Sådana förändringar på cell- och vävnadsnivå som beror på ozon hittade man i stort sett överallt. De ozonhalter som anses skadliga för växter överskreds på båda sidor av Kvarken. Den låga kvävehalten i barren torde vara orsaken till att ozonskador påträffades i större utsträckning i Västerbottens län än i Vasa län (Holopainen m.fl. 1993). På bägge sidor av Kvarken träffar man på symptom som utgör tecken på skador av våtdeponerade föroreningar, medan cellföränd-



*Tyypillinen kuusikko Västerbottenin rannikolta Uumajan edustalta. Kuva: Erkki Oksanen.*

*Ett typiskt granbestånd vid Västerbottens kustland utanför Umeå. Foto: Erkki Oksanen.*

vuotta. Havaittu soistuminen ei kuitenkaan tue tätä käsitystä.

Vanhemmalla iällä Merenkurkun kuusikoita vaivaavat myös erilaiset tuhohyönteiset sekä juurikääpä, voimakkaammin Suomen kuin Ruotsin puolella. Juurikäävän yleisyyteen lienevät syynä osaltaan rannikkoalueiden tuulisuus ja maaperän kiviisyys. Tuulten heiluttaessa puita niiden juuristoon syntyy helposti vaurioita, jota kautta lahottajasienet pääsevät etenemään (Hintikka 1972).

Merenkurkun kuusikoissa havaittiin myös viitteitä ilman epäpuhtauksien vaikutuksista. Otsonin aiheuttamia solu- ja solukkotasoisia muutoksia kuusen neulasissa todettiin kaikkialla. Otsonipitoisuudet, joita pidetään kasvillisuudelle haitallisina, ylittyvätkin molemmilla puolilla Merenkurkkua. Neulasten alhainen typpipitoisuus lienee syynä siihen, että otsonivaurioita tavattiin enemmän Västerbottenin kuin Vaasan läänin puolella (Holopainen ym. 1993). Molemmiin puoliin Merenkurkkua happamaan märkälasseumaan viittäviä oireita tavattiin vähän ja kaasumaiselle rikkidioksidille tunnusomaisia solumuutoksia tavattiin ainoastaan Suomen puolella. Oireet olivat kuitenkin lieviä. Nämä havainnot ovat samansuuntaisia päästöjen alueellisen jakautumisen kanssa. Paikalliset päästöt lienevät osasyynä myös siihen, että neulasten rikkipitoisuudet olivat Vaasan läänin rannikolla kor-

keampia kuin Västerbottenin puolella. Runsaampi viherlevän esiintyminen kuusen neulasilla Suomen kuin Ruotsin puolella Merenkurkkua selitynee turkistarhauksesta ja maataloudesta peräisin olevilla typpipäästöillä. Tämä on kuitenkin ristiriidassa sen kanssa, että kuusikot kärsivät typen niukkuudesta. Ruotsin puolella Holmsvattenin lähistöllä todettiin lievästi kohonneisiin neulasten metallipitoisuuksiin lienevät syynä Rönskärsvärkenin tehtaiden päästöt.

On ilmeistä, että ilman epäpuhtauksien vaikutukset Merenkurkun kuusikoiden kuntoon ja kasvuun ovat luontaisten ympäristötekijöiden vaikutuksia vähäisempiä, koska kuusikoiden huonokuntoisuus on tiedostettu jo vuosikymmeniä (Appelroth 1948). Toisaalta on kuitenkin muistettava, että ilman epäpuhtaudet aiheuttavat ja/tai voimistavat puiden vesi- ja ravinnetalouden häiriöitä (Johnson ym. 1993), joista Merenkurkun alueen kuusikot kärsivät jo luontaisesti. Jatkossa olisikin tarpeen tutkia, kuinka suuria ilman epäpuhtauskuormituksia nämä kuusikot kestävät ja millä tavoin paikalliset omaleimaiset ilmasto- ja maaperätekijät vaikuttavat puiden ilmansaasteiden sietokykyyn. Tutkimuksin tulisi myös selvittää, miten kuusikoiden kuntoa voitaisiin parantaa metsänhoidollisin menetelmin.

ringar som är kännetecknande för svaveldioxid bara återfinns på den finska sidan. Symptomen var dock svaga. Iakttagelserna sammanfaller med utsläppens regionala fördelning. Lokala utsläpp torde vara en delorsak till att barrens svavelhalt var högre vid Vasa läns kust än i Västerbottens kust. En rikligare förekomst av grönalger på granbarr i Finland jämfört med Sverige kan kanske förklaras med kväveutsläpp från pälsdjursfarmer och lantbruk. Detta står dock i konflikt med konstaterandet att granbestånden lider av kvävebrist. Nära Holmsvatten på den svenska sidan konstaterades också svagt förhöjda metallhalter i barran som kan ha förorsakats av utsläpp från Rönnskärverken.

Det är uppenbart att luftföroreningarnas in-

verkan på granbeståndens kondition och tillväxt är mindre än de naturliga miljöfaktorernas. Det faktum att granskogens dåliga skick har uppmärksamrats i årtionden stöder den slutsatsen (Appelroth 1948). Å andra sidan bör man komma ihåg att luftföroreningarna förorsakar problem i granarnas vatten- och näringshushållning (Johnson m.fl. 1993), där de redan är utsatta för naturliga påfästningar. I fortsättningen borde man undersöka hur stor belastning av luftföroreningar de här granbestånden tål och på vilket sätt de lokalt präglade klimat- och markfaktorerna påverkar trädens motståndskraft mot luftföroreningar. Man bör också undersöka hur granskogarnas hälsotillstånd kan förbättras med hjälp av en förbättrad skogsvård.

# CONDITION OF NORWAY SPRUCE IN THE KVARKEN REGION OF THE GULF OF BOTHNIA

Hannu Raitio, Päivi Merilä & Svante Lindroth

In 1992, the three-year research project "The Condition of Norway Spruce in the Kvarken Region of the Gulf of Bothnia" was initiated by the Kvarken Council of the Gulf of Bothnia and the County Governments of Vaasa (Finland) and Västerbotten (Sweden). The objective of the project was to determine the condition of Norway spruce and to assess the impact from the local environmental conditions in the coastal regions of the two counties. The research was performed by the Department of Forest Survey at the Swedish University of Agricultural Sciences in Umeå, the Finnish Forest Research Institute, and the Water and Environment Districts of Kokkola and Vaasa. Other participants in the project were the Departments of the Environment of the counties of Vaasa and Västerbotten.

## Condition of Norway spruce

The spruce stands in the Kvarken area are quite old. On Finnish territory, this is primarily explained by a modest felling activity, while on Swedish territory Scots pine gives better economical output. The level of growth in spruce stands has not changed significantly during the latest decades, and variations in growth was observed to be very uniform on both sides of the Gulf. The growth of Norway spruce in the coastal parts of Finnish Pohjanmaa has been observed to decrease more rapidly with age than elsewhere in southern Finland. This is the reason why forest growth along the coast of Finnish Pohjanmaa is lower than in central Finland, for instance. The situation in the county of Västerbotten is quite the opposite: the growth conditions in the inner parts of the county are harsher than at the coast.

On the Finnish side of the Gulf, spruce stands

were observed to have more defoliation and discolouration than in corresponding site types elsewhere in southern Finland. Along the coast of the county of Västerbotten in Sweden, however, the condition of the crowns of spruce corresponded to the average along the coast of central Sweden. Stands representing equivalent age classes were more defoliated in Finland than in Sweden. In Finnish territory belonging to the Kvarken region, defoliation of spruce was observed to appear in younger (50–60 year-old) stands, and the crowns of the trees lose their vigour more rapidly, than elsewhere. Throughout the Kvarken region, defoliation was observed to become more serious with increasing age. The more seriously defoliated stands were also observed to exhibit the least growth. Defoliated and discoloured stands of spruce were also observed to have more frequent cases of cell-damage in needles than trees with denser crowns. Decay and wind damage were also more frequent in Finnish territory when compared to the situation in Sweden. Epiphytal algae on the needles was also more abundant in Finland.

Stands of Norway spruce in the Kvarken region were particularly stressed by lack of nitrogen; this was more pronounced in the coastal parts of the county of Västerbotten than in Vaasa. An exception to this rule were spruce stands on peat soils in Sweden, where the potassium concentrations in the needles were relatively low with respect to their nitrogen concentrations. In Finnish territory, the concentrations of copper in spruce needles were very low. Sulphur concentrations, on the other hand, were generally higher in spruce needles in Finland than in Sweden. The nitrogen and copper concentrations in the needles of old Norway spruce in the coastal parts of Finnish Pohjanmaa were lower whereas the boron concentrations were higher than in young stands of spruce.

## Condition of spruce and environmental factors

The stands of spruce in the coastal parts of Finnish Pohjanmaa are in a worse condition than stands of equivalent age and growing on equivalent sites in southern Finland and along the coast of the county of Västerbotten in Sweden. The condition of spruce stands on the Finnish side of the Kvarken region has aroused attention for several decades (Appelroth 1948). Nowadays, researchers agree on the fact that the condition of the forests is due to effects from both natural agents and human activity. Recent years, there has also been an increase in our understanding of the role of stand history (Hüttl and Schaaf 1995). It is obvious that disturbances in spruce's supplies of water and nutrients along the coast of Finnish Pohjanmaa are reflected as premature defoliation, and this in turn is observed as an abnormal decrease in growth.

Stands of Norway spruce in the Kvarken region are characterised by acidic humus, lack of nutrients, and slow decomposition of the litter. Consequently, the spruce stands are particularly afflicted by a deficiency of nitrogen, which was observed to accentuate its effects in old stands. In the Pohjanmaa region, it was observed that defoliation was increasingly more intense, the less nitrogen the organic part of the humus contained. In the county of Västerbotten in Sweden, the situation was somewhat different: the more defoliated and more discoloured the stands of spruce, the lower the needles' magnesium concentrations. Plants afflicted by deficiencies of so called mobile nutrients (i.e. nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium) are translocated from older to the younger parts. This is manifested by premature shedding of older needles (Marschner 1995).

In spite of a lower nutrient status in spruce stands in the Västerbotten side of the Kvarken region than on the Finnish side, spruce stands on Swedish territory were in a better condition. A likely explanation for this may be that the soils on the Finnish side are more fine-grained than in Västerbotten. Therefore, paludification and the associated problems are more common in Finnish Pohjanmaa than across the Kvarken region. Susceptibility to paludification is promoted by the rising of the land along the coast, and the level topography.

The coastal region of the county of Vaasa in Finland is characterised by low snowfall (Solantie 1988). Consequently, the stony moraine soils typical for spruce stands in Pohjanmaa, freeze to considerable depth annually (Huttunen and Soveri 1993). In the case of paludified mineral soil sites, the frozen soil persists well into spring because of the peat's lower thermal conductivity and its higher thermal capacity when compared to pure mineral soils (Soveri and Varjo 1977).

As stands of spruce enter maturity and beyond, an increasingly large proportion of the snowfall is intercepted by the stand canopy (Yli-Vakkuri 1960), whereupon the underlying forest soil is left with even less snow, and the circumstances for soil freezing are further improved. On the other hand, when springtime arrives, a dense stand of spruce hampers the penetration of solar radiation and the warming of the soil takes longer. Springtime along the coast means that the coldness of the sea also slows down the warming of the air, and thereby also of the soil. Yet the coastal region is very sunny and windy at this time of the year, but trees do not get enough moisture from the soil. In order to reduce their transpiration, trees tend to reduce their transpiring area (Kramer and Kozlowski 1979), and this manifests itself as premature defoliation.

The acidity of the humus, lack of nutrients and poor decomposition in spruce stands are the result of harmful temperature and water conditions, as well as of the fact that stands of spruce have followed previous stands of spruce generation after generation, and that forest fires have been infrequent. Another significant factor involved is that of rising land and the physico-chemical changes it causes. Appelroth (1948) proposed that the fall in the groundwater table level as a consequence of land rising from the sea gradually impoverishes forest sites. The observed paludification, however, does not support this view.

As they increase in age, spruce stands in the Kvarken region become increasingly afflicted by various insect pests and the root-rot fungus (*Heterobasidion radiciperda* R.Hartig), more so in Finland than in Sweden. The common occurrence of the root-rot fungus is probably partly explained by the windiness and stony soils along the coast.

As winds cause trees to sway, their roots are more likely to be injured, enabling the fungus to infect the trees (Hintikka 1972).

Some symptoms of the effects of airborne pollution were also noticed in the Norway spruce stands in the Kvarken region. Cell and cell-level changes caused by ozone were observed in spruce needles throughout the region. Ozone concentrations in excess of levels considered harmful to plants are exceeded on both sides of the Kvarken area. The low nitrogen concentrations observed in the needles is a probable explanation to the more frequent occurrence of ozone damage in the Province of Västerbotten than in the county of Vaasa (Holopainen et al. 1993). Relatively few symptoms indicating the presence of acidic wet deposition were observed on both side of the Kvarken region, and cell changes characteristic of gaseous sulphur dioxide were observed in Finnish territory only. However, these symptoms were slight. These observations are in agreement with the regional distribution of pollutants. Local emissions are probably part of the explanation for why the sulphur concentrations in spruce needles were higher along the coast of the county of Vaasa than along the Västerbotten coast. The more abundant occurrence of green algae on spruce needles in Finnish territory is probably explained

by the nitrogen emissions from the region's fur-animal industry and agriculture. This is, however, in conflict with the observation that spruce stands in that area are afflicted by a lack of nitrogen. The rise in metal concentrations in spruce needles observed near Holmsvatten, Sweden, is probably due to emissions from the Rönnskärsverken industrial activity.

It is obvious that the effects of air pollutants on the condition and growth of Norway spruce stands in the Kvarken region are less than those of natural environmental agents, because the poor condition of the region's spruce stands has been recognised several decades ago (Appelroth 1948). On the other hand, it should be borne in mind that air pollutants cause and/or accentuate disturbances in the supply of water and nutrients to trees (Johnson et al. 1993), and these spruce stands in the region are already subject to due to natural circumstances. Indeed, future research should be directed at assessing the amount of deposition of air pollutants that spruce stands are capable of withstanding, and how local climatic and edaphic factors influence the capacity of trees to withstand pollution. Research should also address the issue of how the condition of spruce stands in this region might be improved through silviculture.

# KIRJALLISUUS LITTERATUR

- Aaltonen, V. T. 1940. Metsämaa, metsämaatieteen oppi- ja käsikirja. WSOY. Porvoo. 616 s.
- Aarne, M. (toim./red.). 1995. Metsätaloustilastollinen vuosikirja 1995. Skogsstatistisk årsbok. Maa- ja metsätalous. Jord- och skogsbruk. 1995: 5. Metsäntutkimuslaitos. Skogsforskningsinstitutet. Helsinki. 354 s.
- Ahrens, E. 1964. Untersuchungen über den Gehalt von Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten an Kupfer, Zink, Bor, Molybden und Mangan. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 135: 8–16.
- Andersson, F. 1995. Tillväxt och vitalitet – några grundläggande utgångspunkter. Kritiska faktorer för skogsträdens tillväxt och vitalitet. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademins Tidskrift 134(11): 9–11.
- Anttila, H. 1980. Näringslivets utveckling i svenska Österbotten efter år 1867. Julkaisussa/I: Svenska Österbottens landskapsförbund (Julkaisija/Utgivare). Svenska Österbottens Historia III. Boktryckeri Ab Fram, Vasa. s. 193–430.
- Appelroth, E. 1948. Några av landhöjningen betingade skogliga särdrag inom den österbottenska skärgården. Julkaisussa/I: Cederhvarf, B. (toim./red.). Skärgården. Nordenskiöld-Samfundet i Finland. Helsinki. s. 292–304.
- Becker, M. 1989. The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of northeastern France. Canadian Journal of Forest Research 19: 1110–1117.
- Bert, D. 1992. Silver fir (*Abies alba* Mill.) shows an increasing long term trend in the Jura mountains. Julkaisussa/I: Bartholin, T.S., Björn, B.E., Eckstein, D. & Schweingruber, F. (toim./red.). Tree Rings and Environment. Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, Sweden, 3–9 Sept. 1990: 27–29.
- Boyd, R., Nilsson, G., Papunen, H., Vormaa, A., Zagorodny, V. & Robonen, W. 1985. General Geological Map of the Baltic Shield. Julkaisussa/I: Papunen, H. & Gorbunov, G.I. (toim./red.). Nickel-copper deposits of the Baltic Shield and Scandinavian Caledonides. Geological Survey of Finland, Bulletin 333: 1–394.
- Briffa, K. 1992. Increasing productivity of "natural growth" conifers in Europe over the last century. Julkaisussa/I: Bartholin, T.S., Björn, B.E., Eckstein, D. & Schweingruber, F. (toim./red.). Tree Rings and Environment. Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, Sweden, 3–9 Sept. 1990: 64–71.
- Brinkman, R. & Pons, L. J. 1973. Recognition and prediction of acid sulphate soil condition. International Institute of Land Reclamation Improvement, Publications 18(1): 169–203.
- Burg, J. van den. 1985. Foliar analysis for determination of tree nutrient status – a complication of literature data. Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos en Landschapsbouw "de Dorschkamp" Wageningen, Report nr. 414. 615 s.
- Bäck, J., Neuvonen, S. & Huttunen, S. 1994. Pine needle growth and fine structure after prolonged acid rain treatment in the subarctic. Plant, Cell and Environment 17: 1009–1021.
- Cook, E. R. & Kairukstis, L. A. (toim./red.). 1990. Methods of dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 393 s.
- Dmuchowski, W. & Bytnerowicz, A. 1995. Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Environmental pollution 87: 87–104.
- Elfving, B., Tegnhammar, L. & Tveite, B. 1995. Growth Trends of Forests in Sweden and Norway. Abstracts of Invited Papers. IUFRO XX World Congress 6–12 August 1995. Tampere, Finland. s. 273–274.

- Elmberg, J., Bäckström, P.-O. & Lestander, T. (toim./red.). 1992. Vår skog – vägvalet. SLU och LTs förlag. Berlings, Arlöv. 207 s.
- Ericsson, A., Nordén L.-G., Näsholm, T. & Walheim, M. 1993. Mineral nutrient imbalances and arginine concentrations in needles of *Picea abies* (L.) Karst. from two areas with different levels of airborne deposition. *Trees* 8: 67–74.
- Eriksson, H. & Johansson, U. 1993. Yields of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two consecutive rotations in southwestern Sweden. *Plant and Soil* 154: 239–247.
- Ervio, R. 1975. Kyrönjoen vesistöalueen rikkipitoiset viljelysmaat. Abstract: Cultivated sulphate soils in the drainage basin of river Kyrönjoki. *Journal of the Scientific Agricultural Society in Finland* 47: 550–561.
- Evers, F.H. 1986. Die Blatt- und Nadelanalyse als Instrument der Bioindikation. *Allgemeine Forstzeitschrift* 41: 61–69.
- Ferm, A., Hytönen, P., Lähdesmäki, P., Pietiläinen, P. & Pätilä, A. 1990. Effects of High nitrogen deposition on forests: case studies close to fur animal farms. *Julkaisussa/I: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim./red.). Acidification in Finland. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg. s. 635–668.*
- Ferm, M. 1991. A sensitive diffusional sampler. *IVL Rapport. B-1020. 12 s.*
- Fritts, H.C. 1976. *Tree Rings and Climate. Academic Press, London. 567 s.*
- Grennfelt, P. & Hultberg, H. 1986. Effects of nitrogen deposition on the acidification of terrestrial and aquatic ecosystems. *Water, Air and Soil pollution* 30: 945–963.
- Göransson, A. 1990. Alger, lavar och barruppsättning hos unggranar. Längs en kvävegradient från Sverige till Holland – en pilotstudie. *Naturvårdsverket, Rapport 3741. 37 s.*
- Hallbäcken, L. & Tamm, C. O. 1986. Changes in soil acidity from 1927 to 1982–1984 in a forest area of south-west Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 219–232.
- Hallgren-Larsson, E., Sjöberg, K. & Westling, O. 1995. Luftföroreningar i norra Sverige – nedfall, halter och effekter oktober 1993 – september 1994. *IVL Rapport B-1185. 22 s.*
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121: 1–28.
- Hanisch, B. & Kilz, E. 1990. Waldschäden erkennen. Fichte und Kiefer. Verlag Ulmer. Stuttgart. 334 s.
- Heino, R. 1987. Ilmasto. *Klimatet. Julkaisussa/I: Oksala, T. (toim./red.). Vaasan saaristo. Vasa skärgård. O&G Kustannus / O&G Yhtiöt. Vaasa. s. 66–79.*
- Helminen, V.A. 1987. Lämpöolot. *Julkaisussa/I: Alalammi, P. (toim./red.). Ilmasto. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura. Helsinki. Suomen kartasto, vihko 131: 4–10.*
- Henttonen, H. 1986. Puun kasvun ilmastollinen vaihtelu. *Raportti Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiölle. Moniste. 45 s.*
- Henttonen, H. 1990. Kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvun vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Variation in the diameter growth of Norway spruce in southern Finland. *Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen tiedonantoja* 25: 1–88.
- Hintikka, V. 1972. Wind-induced root movements in forest trees. Seloste: Havaintoja tuulen aiheuttamista liikkeistä puiden juuristossa. *Communications Institute Forestalis Fenniae* 76(2): 1–56.
- Holopainen, T., Anttonen, S., Wulf, A., Palomäki V. & Kärenlampi, L. 1992. Comparative evaluation of the effects of gaseous pollutants, acidic deposition and mineral deficiencies: structural changes in the cells of forest plants. *Agriculture Ecosystems & Environment* 42: 365–398.
- Holopainen, T., Palomäki, V. & Rantanen, L. 1993. Responses of conifer seedlings to slightly elevated ozone level in Kuopio open-field fumigation experiment. *Julkaisussa/I: Tuomisto, J. & Ruuskanen, J. (toim./red.). Proceedings of the First Finnish Conference of Environmental Sciences. Kuopio, October 8–9, 1993. Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences* 14: 117–120.
- Hustich, I. 1981. Some remarks on the climate/tree growth relationship in northern Europe. *Mitteilungen Forstlichen der Bundesversuchsanstalt, Wien* 142/II. s. 309–325.
- Huttunen, L. & Soveri, J. 1993. Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Referat: Den regionala och tidmässiga variationen av tjälen i naturtillstånd i Finland. *Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja sarja A no. 139: 1–77.*
- Huttunen, S., Laine, K. & Torvela, H. 1985. Sea-

- sonal sulphur contents of pine needles as indices of air pollution. *Annales Botanici Fennici* 22: 343–359.
- Hüttl, R.F. & Schaaf, W. 1995. Nutrient supply of forest soils in relation to management and site history. *Plant and Soil* 168–169: 31–41.
- Hyvärinen, A. 1990. Deposition on forest soils – effect of tree canopy on throughfall. *Julkaisussa/I: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim./red.). Acidification in Finland. Springer Verlag, Berlin. s. 199–213.*
- Hägglund, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. Summary: Site index curves for Norway spruce in northern Sweden. Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser 21. 298 s.
- Hägglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstracts* 42(11): 515–527.
- Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1977. Skattning av höjdboniteten med ståndortsfaktorer. Tall och gran i Sverige. Institutionen för växtekologi och marklära, Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser 28. 240 s.
- Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirements in *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum* 45: 373–380.
- Innes, J. L. 1995. Influence of air pollution on the foliar nutrition of conifers in Great Britain. *Environmental Pollution* 88: 183–192.
- Jalkanen, R. 1994. Onko kuusi hengittämässä itsensä Etelä-Suomesta. *Folia Forestalia* 1:91–92.
- Jalkanen, R. 1995. Needle trace method (NTM) for retrospective needle retention studies on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Acta Universitatis Ouluensis. A* 264. 38 s.
- Jarva, M. & Tervahauta, A. 1989. Neulasten rikki-analysivertailu. Summary: A comparison of sulphur analyses of conifer needle samples. *Silva Fennica* 23(2): 117–124.
- Jern, K. 1980. Näringsliv och levnadsvillkor i svenska Österbotten från medeltiden till 1800-talets stora nödår. *Julkaisussa/I: Svenska Österbottens landskapsförbund (Julkaisija/Utgivare). Svenska Österbottens Historia II. Boktryckeri Ab Fram, Vasa. s. 5–191.*
- Johnson, B. 1969. Studier över den av väderleken orsakade variationen i årsringsbredderna hos tall och gran i Sverige. Institutionen för skogsproduktion, Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser 16. 297 s.
- Johnson, D.W., Lindeberg, S.E., Miegroet, H. van, Lovett, G.M., Cole, D.W., Mitchel, M.J. & Binkley, D. 1993. Atmospheric deposition, forest nutrient status, and forest decline: Implications of the integrated forest study. *Julkaisussa/I: Huettl, R.F. and Mueller-Dombois, D. (toim./red.). Forest decline in the Atlantic and Pacific regions. Springer Verlag, Berlin. s. 66–81.*
- Jukka, L. 1988. (toim./red.) *Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki. 168 s.*
- Järvinen, O. & Vänni, T. 1994. Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1993. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja no. 579: 1–68.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 145: 1–39.
- Kevie, W. van der. 1973. Physiography, classification, and mapping of acid sulphate soils. *International Institute of Land Reclamation Improvement, Publications* 18(1): 204–221.
- Kidbom, K., Persson, K., Sjöberg, K. & Lövblad, G. 1993. Atmosfärkemisk övervakning vid IVL's stationer inom EMEP. Sveriges Naturvårdsverket, Rapport 4211. 51 s.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 51(8): 1–49.
- Koljonen, T., Gustavsson, N., Noras, P. & Tanskanen, H. 1992. Alkuainekuvaukset ja geokemialliset kartat. Description of elements and geochemical maps. *Julkaisussa/I: Koljonen, T. (toim./red.). Suomen geokemian atlas. Osa 2: Moreeni. The geochemical atlas of Finland. Part 2: till. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. s. 143–217.*
- Kramer, P.J. & Kozlowski, T.T. 1979. *Physiology of woody plants. Academic Press, Inc. Orlando. 811 s.*
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soil. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 114: 1–55.
- Kuusela, K. & Salminen, S. 1991. Suomen metsävarat 1977–84 ja niiden kehittyminen 1952–

1980. Summary: Forest resources of Finland in 1977–1984 and their development in 1952–1980. *Acta Forestalia Fenniae* 76(5): 1–126.
- Larsen, J. B. 1976. Untersuchungen über die Frostempfindlichkeit von Douglasienherkünften und über den Einfluss der Nährstoffversorgung auf die Frostresistenz der Douglasie. *Forst- und Holzwirtschaft* 15: 299–302.
- Laurila, T. & Lättilä, H. 1993. Surface ozone exposures measured in Finland. *Atmospheric Environment* 28: 103–114.
- Lehto, J. & Leikola, M. 1987. Käytännön metsätyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 96 s.
- Leikola, M., Raulo, J. & Pukkala, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon ennustaminen. Summary: Prediction of the variation of the seed crop of Scots pine and Norway spruce. *Folia Forestalia* 537: 1–43.
- Lindberg, S. E. & Garten, C. T. Jr. 1988. Sources of sulphur in forest canopy throughfall. *Nature* 336: 148–151.
- Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins* 44: 178–190.
- Lindroos, H. 1991. Nuoren maan maanoskehityksestä Keski-Pohjanmaalla. *Julkaisussa/I: Pulkkinen, E. (toim./red.) Environmental geochemistry in northern Europe. Geological Survey of Finland. Special Paper 9: 65–74.*
- Lipas, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. *Folia Forestalia* 618: 1–16.
- Liu, I-C. & Trüby, P. 1988. Bodenanalytische Diagnose von K- und Mg-Mangel in Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.). *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 152: 307–311.
- Lundgren, C. 1994. Luftmiljön i Västerbotten-Sammanställning av utsläpp, nedfall och luftkvalitet i Västerbottens län 1992. *Meddelande* 6: 1–50.
- Lundmark, J-E. 1986. Skogsmarkens ekologi. Ståndortsanpassat skogsbruk. Del 1 – Grunder. Fälths Tryckeri. Värnamo. 158 s.
- Malcolm, D.C. & Garforth, M.F. 1977. The sulphur:nitrogen ratio of conifer foliage in relation to atmospheric pollution with sulphur dioxide. *Plant and Soil* 47: 89–102.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2. Edition. Academic Press. London. 889 s.
- Mielikäinen, K. 1995. Growth Trends of Forests in Finland and North-West Russia. Abstracts of Invited Papers. IUFRO XX World Congress 6–12 August 1995. Tampere, Finland. s. 274.
- Mikola, P. 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudulla. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 40(2): 1–35.
- Morrison, I. K. 1974. Mineral nutrition of conifers with special reference to nutrient status interpretation: a review of literature. *Canadian Forest Service Publications* 1343: 1–74.
- Mustonen, S. 1966. Ilmasto- ja maastotekijöiden vaikutuksesta lumen vesiarvoon ja roudan syvyyteen. Summary: Effect of meteorologic and terrain factors on water equivalent of snow cover and on frost depth. *Acta Forestalia Fennica* 79: 1–40.
- Niki, T. 1982. Ultrastructural changes of plasma membrane in cortical parenchyma cells of Mulberry twig related to freezing tolerance. *Julkaisussa/I: Li, H.P. & Sakai, A. (toim./red.). Plant cold hardiness and freezing stress. Mechanism and crop implications. Academic Press. New York, London. Vol 2: 189–197.*
- Nilsson, L-O. & Wiklund, K. 1992. Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in South Sweden. – The role of air pollutants. *Plant and Soil* 147: 251–265.
- Niskanen, R., Keränen, S. & Pipatti, R. 1990. Ammonia Emissions in the 1980s. *Julkaisussa/I: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim./red.). Acidification in Finland. Springer Verlag. Heidelberg, Berlin. s. 31–39.*
- Nordiska ministerrådet. 1984. Naturgeografisk regionindelning av Norden. *Berlings. Arlöv. 289 s.*
- Nuorteva, H. & Kurkela, T. 1993. Effect of crown reduction on needle nutrient status of Sclerodermis-cancer-diseased and green-pruned Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1169–1178.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilän, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittautiedoista. Summary: Estimation of local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. *Silva Fennica* 17(2): 142–160.

- Okko, M. 1967. The relation between raised shores and present land uplift in Finland during the past 8000 years. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III. Geologica-Geografica* 93: 1–59.
- Osmo, J. & Raitio, H. 1994. Päästöt, ilman laatu ja laskeuma Vaasan läänin rannikolla vuosina 1990–1992. Utsläpp, luftkvalitet och nedfall i Vasa läns kustområde under åren 1990–1992. Vaasan lääninhallituksen julkaisuja. Publikation av Länsstyrelsen i Vasa län 1994:9. 70 s.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5): 1–58.
- Palko, J. 1994. Acid sulphate soils and their agricultural and environmental problems in Finland. *Acta Universitatis Ouluensis C* 75. 58 (+65) s.
- Palko, J., Merilä, E. & Heino, S. 1988. Maankuivatuksen suunnittelu happamilla sulfaattimailla. Summary: Landdrainage planning for acid sulphate soils. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 31: 1–60.
- Petersen, L. 1976. Podzols and podzolization. Doctoral thesis, D.S.R., Copenhagen. 293 s.
- Pukkala, T. 1983. Ilmastotekijöiden ja siementuotannon vaikutus kuusen ja männyn sädekasvuun. Metsänhoitotieteen lisensiaattityö. Joensuun yliopisto. 92 s.
- Puranen, A. 1992. Polttomoottorikäyttöisten työkonoiden ympäristöpäästöt. Tampereen teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, turvallisuustekniikka. Raportti 63. 72 s.
- Raitio, H. 1987. Pakkaskestävyys ja ravinteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 249: 31–35.
- Raitio, H. 1991. Neulas- ja lehtianalyysi diagnostisena tutkimusmenetelmänä. *Luonnon Tutkija* 95: 15–18.
- Raitio, H. 1992. Männyn neulasten kemiallinen koostumus Montshegorskin teollisuusalueella. Julkaisussa/I: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim./red.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. The Lapland Forest Damage Project Iterim report. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 142–149.
- Raitio, H. 1994. Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysien valossa. Julkaisussa/I: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim./red.). Suomen metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527: 25–34.
- Raitio, H., Tuovinen, J.-P. & Anttila, P. 1995. Relation between sulphur concentrations in the Scots pine needles and the air in northernmost Europe. *Water, Air, and Soil* 85: 1–6.
- Ranneby, B., Cruse, T., Hägglund, B., Jonasson, H. & Swärd, J. 1987. Designing a new national forest survey for Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 177: 1–29.
- Salminen, R. (toim./red.). 1995. Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982–1994. Summary: Regional Geochemical Mapping in Finland in 1982–1994. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. Tutkimusraportti 130. 47 s.
- Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1993. Needle polyamine concentrations and potassium nutrition in Scots pine. *Tree Physiology* 13: 87–96.
- Sarkkula, S. 1987. Tuuli. Julkaisussa/I: Alalammi, P. (toim./red.). Ilmasto. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura. Helsinki. Suomen kartasto, vihko 131: 10–12.
- Sirén, G. 1961. Skogsgränställen som indikator för klimatfluktuationer i norra Fennoskandien under historisk tid. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 54(2): 1–66.
- Soikkeli, S. 1978. Seasonal changes in mesophyll ultrastructure of needles of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Botany* 56: 1932–1940.
- Soikkeli, S. 1981. Comparison of cytological injuries in conifer needles from several polluted industrial environments in Finland. *Annales Botanici Fennici* 18: 47–61.
- Solantie, R. 1987. Sade- ja lumiolot. Julkaisussa/I: Alalammi, P. (toim./red.). Ilmasto. Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura. Helsinki. Suomen kartasto, vihko 131: 18–22.
- Soveri, J. & Varjo, M. 1977. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955–75. Vesihallitus. Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 20: 1–66.
- Spiecker, H. 1995. Growth Trends of European Forests – Has Site Productivity Changed? Abstracts of Invited Papers. IUFRO XX World Congress 6–12 August 1995. Tampere, Finland. s. 272.
- Statistiska Centralbyrån. 1993. Utsläpp till luft av ammoniak i Sverige 1991. Na 37 SM 9301.
- Statistiska Centralbyrån. 1994. Utsläpp till luft av flyktiga organiska ämnen i Sverige 1992. Na 18 SM 9402.

- Sutinen, S. 1987. Cytology of Norway spruce needles. I. Changes during ageing. *European Journal of Forest Pathology* 17: 65–73.
- Sutinen, S. 1994. Soluvaurioiden diagnostiikka. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 492: 54–63.
- Sutinen, S. 1995. Männyn neulasten solurakennetutkimus Itä-Uudellamaalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa. Raportti. 10 s.
- Sutinen, S., Skärby, L., Wallin, G. & Sellden, G. 1990. Long-term exposure of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst., to ozone in open-top chambers. II. Effects on the ultrastructure of needles. *New Phytologist* 115: 345–355.
- Sörlin, S. 1981. Flottningen i Västerbotten. *Tidskriften Västerbotten* 1981: 3. 188 s.
- Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819: 1–26.
- Tamminen, P. & Starr, M.R. 1990. A survey of Forest Soil Properties Related to Soil Acidification in Southern Finland. *Julkaisussa/I: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim./red.) Acidification in Finland. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg. s. 235–251.*
- Tegnhamar, L. 1992. Om skattning av ståndortsindex för gran. Summary: On the estimation of site index for Norway spruce. Institutionen för skogstaxering, Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport 53. 259 s.
- The Programme Coordinating Centres Hamburg and Prague (toim./red.). 1994. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assesment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. 3rd edition. United Nations Economic Commission for Europe. 177 s.
- Tilastokeskus. 1992. Liikenne ja ympäristö. *Ympäristö* 1992:2. 272 s.
- Timonen, M. 1977. Kasvuindeksien laadintamenetelmät. *Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 39 s + liitteet.*
- Tomppo, E. 1993. Multi-source national forest inventory of Finland. *Julkaisussa/I: Nyssönen, A., Poso, S. & Rautala, J. (toim./red.). Proceedings of Ilvessalo symposium on national forest inventories, Finland, 17–21 August 1992. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 444: 52–60.
- Tulkki, P. 1984. Itämeren altaan muotoutuminen. *Julkaisussa/I: Voipio, A. & Leinonen, M. (toim./red.). Itämeri. Kirjayhtymä. Rauma. s. 9–24.*
- Viro, P.J. 1947. Metsämaan raekoostumus ja viljavuus varsinkin maan kivisyyttä silmällä pitäen. Summary: The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 35(2): 1–115.
- Viro, P.J. 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I. Pine stands. *Selostus: Metsämaan ravintuhteet ja viljavuus. I. Männiköt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(4): 1–54.
- Viro, P.J. 1955. Investigations on forest litter. *Selostus: Metsäkariketutkimuksia. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45(6): 1–65.
- Vuokila, Y. 1987. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Helsinki. 2. painos. 258 s.
- Westman, C.J. 1990. Metsämaan fysikaaliset ja fysikaalis-kemialliset ominaisuudet CT-OMaT kasvupaikkasarjassa. Summary: Soil physical and physico-chemical properties of Finnish upland forest sites. *Silva Fennica* 24(1): 141–158.
- Will, G. M. 1986. Results from interlaboratory comparisons of chemical analysis of standard foliage samples. *Julkaisussa/I: Hermann, R. (toim./red.). 18 th IUFRO World congress, Division I. Vol I. Forest environment and silviculture. s. 368–377.*
- Yli-Vakkuri, P. 1960. Metsiköiden routa- ja lumi-suhteista. Summary: Snow and frozen soil conditions in the forest. *Acta Forestalia Fennica* 71(5): 1–48.
- Ympäristöministeriö. 1992. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) vähentämisstrategia. *Ympäristönsuojeluosasto. Muistio* 6:1992. 215 s.
- Ångström, A. 1974. Sveriges klimat. *Generalstabens Litografiska Ansatsförlag. Stockholm. 188 s.*
- Österholm, H. 1977. Natur i Österbotten. *Julkaisussa/I: Svenska Österbottens landskapsförbund (Julkaisija/Utgivare). Svenska Österbottens Historia I. Boktryckeri Ab Fram, Vasa. s. 305–375.*

# JULKAISULUETTELO

## PUBLIKATIONER INOM PROJEKTET

Vuoden 1995 loppuun mennessä ilmestyneet ja julkaistavaksi hyväksytyt (painossa olevat) "Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden terveydentila" -projektin julkaisut.

Publikationer som publicerats eller godkänts (i tryck) i projektet "Granskogens hälsotillstånd i Kvarckenregionen".

Boström, C-Å. & Sjöberg, K. 1995. Mätning av ozon med diffusionsprovtagare i Västerbottens län. Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning. IVL-Rapport L95/12. 6 s.

Lundgren, C. 1994. Luftmiljön 1992 i Västerbottens län. Länsstyrelsen, Västerbottens län. Meddelande 6: 1–50.

Osmo, J. & Raitio, H. 1994. Päästö, ilman laatu ja laskeuma Vaasan läänin rannikolla vuosina 1990–1992. Utsläpp, luftkvalitet och nedfall i Vasa läns kustområde under åren 1990–1992. Vaasan lääninhallituksen julkaisu 9: 1–70.

Raitio, H. (toim./red.). 1995. Granskogens hälsotillstånd i Kvarckenregionen. Rapport från seminariet i Ikalis 20–21.9.1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 543: 1–41.

*Julkaisussa seuraavat artikkelit:*

*I publikationen finns följande artiklar:*

Karlsson, K. 1995. Försöksskogarnas tillväxt och struktur. s. 15–17.

Lundgren, C. 1995. Utsläpp, luftkvalitet och nedfall i Västerbottens län 1992. s. 10–12.

Merilä, P. & Raitio, H. 1995. Krondropps- och luftkvalitetsmätningar. s. 26–29.

Osmo, J. & Raitio, H. 1995. Utsläpp, luftkvalitet och nedfall i Vasa läns kustområde under åren 1990–1992. s. 6–9.

Raitio, H. 1995. Om orsakerna till granskogarnas dåliga hälsotillstånd i Vasa läns kustområde. s. 40–41.

Raitio, H. & Merilä, P. 1995. Granskogarnas näringsbalans på grund av barranalyser. s. 20–22.

Raitio, H. & Walheim, M. 1995. Projektets provtytor. s. 4–5.

Salemaa, M. & Lundgren, M. 1995. Granskogarnas vitalitet i Kvarckenregionen. s. 18–19.

Sutinen, S. & Mäenpää, M. 1995. Granbarrens cellstruktur. s. 23–25.

Walheim, M. 1995. Granskogens hälsotillstånd i Västerbotten. s. 30–39.

Yli-Kojola, H. 1995. Österbottens skogs-nämnds granar och grandominerade skogar i riksskogstaxeringen 1991. s. 13–14.

Raitio, H. & Kilponen, T. (toim./red.). 1994. Critical loads and critical limit values. Proceedings of the Finnish-Swedish Environmental Conference. October 27–28, 1994. Vaasa, Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 513: 1–192.

*Julkaisussa seuraavat artikkelit:*

*I publikationen finns följande artiklar:*

Ashmore, M. 1994. Critical levels for forestry in Europe. s. 27–35.

Bishop, K. 1994. Critical load models for the regional and local scale: a cautionary scientific perspective. s. 74–76.

Björklund, A. 1994. Critical load and special characteristics of the Quark area of Finland. s. 139–150.

Hautojärvi, S. 1994. Opening of the conference. s. 6–8.

Henriksen, A., Kämäri, J., Posch, M., Forsius, M., Wilander, A. & Moiseenko, T. 1994. Critical loads for surface waters in Scandinavia and the Kola region. s. 97–108.

Hettelingh, J-P., de Smet, P.A.M. & Downing, R.J. 1994. The critical loads concept and critical loads in Europe. s. 11–26.

- Ilvesniemi, H. & Starr, M. 1994. The use of the Ca/Al ratio in the calculation of critical loads for forest soils. s. 165–173.
- Karhu, M. 1994. Critical loads and critical limit values from the point of view of local government district environmental authorities. s. 162–164.
- Kuusiniemi, K. 1994. Critical loads and critical limit values. The legal point of view. s. 188–192.
- Lammi, R. 1994. Critical loads and critical limit values from the standpoint of the wood and paper industry. s. 87–89.
- Luoma, M. 1994. Opening of the Conference. s. 9–10.
- Mattsson, L. 1994. Critical load and critical limit values from the standpoint of the administration. s. 157–161.
- Mäkelä, K. & Perttilä, M. 1994. Critical loads to the Gulf of Bothnia. s. 90–96.
- Nebaeus, M. 1994. Critical loads and critical limit values from the standpoint of the wood and paper industry. s. 81–86.
- Niininen, H. 1994. Critical load and critical limit values from the standpoint of the energy producer. s. 77–80.
- Nurmela, P-L. 1994. From the viewpoint of a government environmental officer attending a conference dealing with critical loads. s. 181–187.
- Posch, M. 1994. Allocation of critical loads to S and N deposition. s. 36–47.
- Rosén, K. 1994. Some aspects on the concept of critical loads. A moderators conclusions. s. 177–180.
- Staaf, H. 1994. Critical loads/levels as a tool for implementing national strategies for pollution control. s. 151–156.
- de Vries, W., Reinds, G.J. & Posch, M. 1994. Assessment of the forested area in Europe at risk under various acid deposition scenarios. s. 48–65.
- Westerlund, S. 1994. The concepts of critical loads and environmental quality standards. s. 66–73.
- Raitio, H. & Kilponen, T. (toim./red.). 1994. Programme. List of Participants. Abstracts. Critical Loads and Critical Limit Values. Finnish-Swedish Environmental Conference. October 27–28, 1994. Vaasa, Finland. 67 s.
- Julkaisussa seuraavat artikkelit:*
- I publikationen finns följande artiklar:*
- Ashmore, M. 1994. Critical levels for forestry in Europe. Abstract of invited paper. s. 17.
- Bishop, K. 1994. Critical load models for the regional and local scale: a cautionary scientific perspective. Abstract of invited paper. s. 22–24.
- Bishop, K., Rapp, L. & Korsman, T. 1994. Validation of critical loads models with paleolimnological reconstructions of lake pH. Poster abstract. s. 41.
- Björklund, A. 1994. Critical load and special characteristics of Kvarken. Abstract of invited paper. s. 33–35.
- Henriksen, A., Kämäri, J., Posch, M., Forsius, M., Wilander, A. & Moiseenko, T. 1994. Critical loads for surface waters in Scandinavia and the Kola region. Abstract of invited paper. s. 30–31.
- Hettelingh, J-P., de Smet, P.A.M. & Downing, R.J. 1994. The critical loads concept and critical loads in Europe. Abstract of invited paper. s. 16.
- Hongisto, K. 1994. Sodium and chloride concentrations of pine (*Pinus sylvestris* L.) needles growing on the Pöyhösenkangas-Kaupinkangas ground water area besides main road 67. Poster abstract. s. 42.
- Karhu, M. 1994. Critical loads and critical limit values from the point of view of local government district environmental authorities. Abstract of invited paper. s. 38.
- Kersen, Ü. 1994. Estimation of ozone load on forest canopy by semiconductor sensor-applied microprocessor controlled measuring systems. Otsonin metsään kohdistuvan kuormituksen mittausta käyttäen puolijohdesensoriin perustuva mittausjärjestelmää. Poster abstract. s. 43–44.
- Kiukaanniemi, E. 1994. Ecocenter-project at the University of Oulu. Oulun yliopiston Ecocenter-hanke. Poster abstract. s. 45–46.
- Lammi, R. 1994. Critical loads and critical limit values from the standpoint of the wood and paper industry. Abstract of invited paper. s. 26–28.
- Larsson, C. & Olsson, M. 1994. Spårelementmätningar med EDXRF på barr från blödande granar. Runsaasti pihkaa valuttavista kuusista

kerättyjen neulasten hivenainepitoisuuksien määrittäminen EDXRF:llä. Poster abstract. s. 47–48.

Mattsson, L. 1994. Critical load and critical limit values from the standpoint of the administration. Abstract of invited paper. s. 37.

Mäkipää, R. 1994. Effects of nitrogen input on forest soils and ground vegetation. Typpi-kuormituksen vaikutus metsämaan ravinteisyyteen ja pintakasvillisuuden ravinteiden käyttöön. Poster abstract. s. 49–50.

Niininen, H. 1994. Critical load and critical limit values from the standpoint of the energy producer. Abstract of invited paper. s. 25.

Paama, L., Perämäki, P., Lajunen, L.H.J., Laine, K., Saari, E., Kemppainen, K., Pakonen, T. & Havas, P. 1994. Metal contents of wild berries collected from Finnish Lapland and Kola. Lapista ja Kuolasta kerättyjen marjanäytteen alkuaainepitoisuuksista. Poster abstract. s. 51–52.

Perttilä, M. 1994. Critical loads to the Gulf of Bothnia. Abstract of invited paper. s. 29.

Pohjonen, M. 1994. Effects of acid deposition on the ecosystem of the drainage basin of lake Marsjön, Inkoö. Happaman laskeuman vaikutustutkimukset Marsjön-järven valuma-alueella Inkoossa 1983–1990. Poster abstract. s. 53–54.

Posch, M. 1994. Allocation of critical loads to S and N deposition. Abstract of invited paper. s. 18.

Rapp, L. 1994. An alternative way of estimating preindustrial sulphate in lakes. Ett alternativt sätt att bestämma förindustriellt sulfat i sjöar. Poster abstract. s. 55–56.

Salemaa, M. & Vanha-Majamaa, I. 1994. Pattern of forest vegetation along a pollution gradient in SW Finland. Metsäkasvillisuuden rakenne saastegradientilla Lounais-Suomella. Poster abstract. s. 57–58.

StAAF, H. 1994. Critical loads/levels as a tool for implementing national strategies for pollution control. Abstract of invited paper. s. 36.

Sutinen, M-L. 1994. Seasonal changes in the frost hardness *Pinus sylvestris* L. needles in the Kola Peninsula and Finnish Lapland. Poster abstract. s. 59.

Sutinen, S. & Juuti, S. 1994. Effekter av flyktiga halogenkolvätens reaktionsprodukter på sko-

garna – en experimentell exponering för triklorättiksyra. Haihtuvien halogenoitujen hiilivetyjen reaktiotuotteiden vaikutukset metsässä – kokeellinen altistus trikloorietikkahapolla. Poster abstract. s. 60–61.

Sverdrup, H. & Rosen, K. 1994. Critical loads of acidity and their relationship to soil weathering for Swedish forest ecosystems. Abstract of invited paper. s. 32.

Tarvainen, T. & Johansson, M. 1994. Uppskattning av förvittringshastigheten för kartering av skogsmarkernas kritiska belastning i Finland. Emäskationien rapautumisnopeuden arviointi Suomen metsämaiden kriittisten kuormitusten kartoituksessa. Poster abstract. s. 62–63.

Turunen, M. & Huttunen, S. 1994. Hur surt nedfall och tungmetaller påverkar barrytan på tallen. Happaman laskeuman ja raskasmetallien vaikutus männyn neulaspintaan. Poster abstract. s. 64–65.

Virkkula, A., Hillamo, R., Mäkinen, M., Mäkelä, T. & Pakkanen, T. 1994. Svaveldioxid- och sulfatkoncentrationer i Enare Lappland. Rikkitioksid- ja sulfaattipitoisuudet Inarin Lapissa. Poster abstract. s. 66–67.

de Vries, W., Reinds, G.J. & Posch, M. 1994. Assessment of the forested area in Europe at risk under various acid deposition scenarios. Abstract of invited paper. s. 19.

Westerlund, S. 1994. The critical loads and environmental quality standards concepts from legal viewpoints. Abstract of invited paper. s. 20–21.

Raitio, H., Karlsson, K., Lindgren, M., Merilä, P., Osmo, J., Salemaa, M., Sutinen, S. & Ylikojola, H. 1994. Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden terveydentila ja siihen vaikuttavat tekijät. Julkaisussa/I: Mätkönen, E. & Sivula, H. (toim./red.). Suomen metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 527: 137–146.

Sinkkonen, S., Raitio, H., Paasivirta, J., Rantio, T., Lahtiperä, M. & Mäkelä, R. 1995. Concentrations of persistent organochlorine compounds in spruce needles from western Finland. *Chemosphere* 30.8: 1415–1422.

Westholm, M. & Appelberg, M.H. 1994. Nordisk Kraft. Samarbete som skapar framtidens möjligheter. Nordiska rådet, Nordiska ministerrådet. 48 s.













Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden kunto on askarruttanut monia jo vuosikymmenet. Toistaiseksi ei ole kuitenkaan ollut käytettävissä tutkittua tietoa siitä, mikä kuusikoiden todellinen tila on ja miten paikalliset olot ja ihmisen toiminta vaikuttavat kuusikoiden terveydentilaan Merenkurkun alueella. Vastauksen löytämiseksi näihin kysymyksiin Merenkurkun neuvoston sekä Vaasan ja Västerbottenin lääninhallitusten aloitteesta perustettiin vuonna 1992 tutkimusprojekti "Merenkurkun rannikon ja saariston kuusikoiden terveydentila".

Kirjassa esitellään kolme vuotta kestäneen tutkimusprojektin tulokset. Tutkijoiden ja asiantuntijoiden kirjoittamista artikkeleista selviää, mikä on kuusikoiden kunto ja miten omaleimaiset luontaiset ympäristötekijät sekä ihmisen toiminta vaikuttavat kuusikoiden terveydentilaan Merenkurkun alueella.

Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen har väckt intresse i årtionden. Fakta om granskogarnas egentliga tillstånd och om hur lokala förhållanden och mänsklig verksamhet påverkar granskogarna i området har emellertid saknats. För att belysa miljötillståndet i området, särskilt med avseende på granskogarna, inleddes år 1992 ett forskningsprojekt kallat "Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen" på initiativ av Kvarkenrådet samt av länsstyrelserna i Vasa och Västerbottens län.

I denna rapport presenteras resultatet från det treåriga forskningsprojektet. Artiklarna, som är skrivna av forskare och specialister, redovisar granskogarnas hälsotillstånd samt hur områdets speciella miljöfaktorer tillsammans med människans verksamhet påverkar granskogarna i Kvarkenregionen.

Merenkurkun neuvosto  
Kauppapuistikko 23 A  
FIN-65100 Vaasa

Kvarkenrådet  
Kommunförbundet Västerbotten  
Box 6518  
S-906 12 Umeå