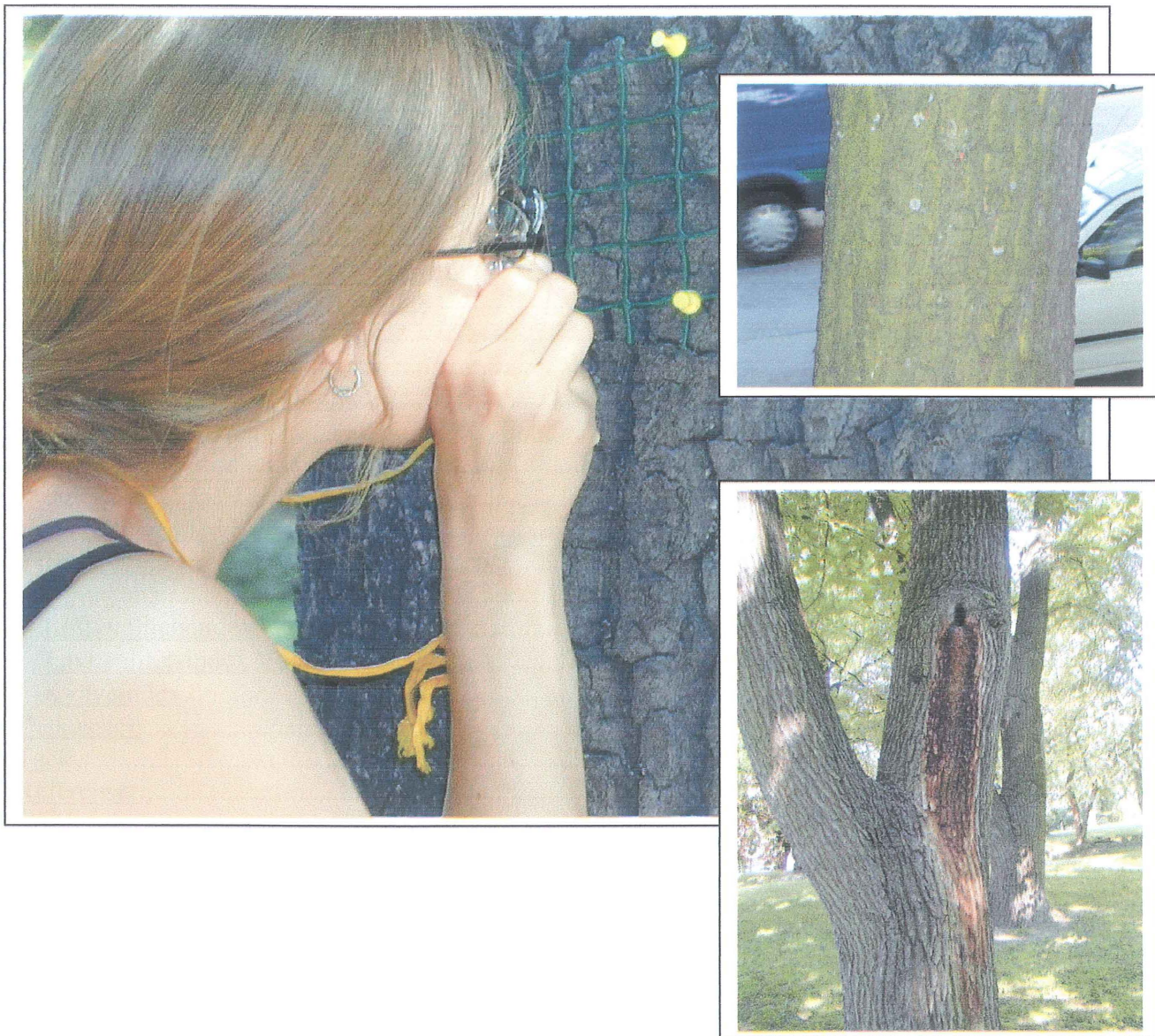


Lavar i Stockholms innerstad 2001



En studie av Anna Lagerqvist
Sveriges lantbruksuniversitet 2001-09-14

Sammanfattning	2
Introduktion	2
Metoder	2
Studerade områden	3
Stockholms innerstad	3
Referensområdet.....	4
Skyes inventering	5
Lavar och luftföroreningar	6
Hur och varför lavar påverkas	7
Nitrofila arter	9
Index.....	9
Känslighetsindex	10
Luftkvalitetsindex.....	10
Luftkvalitetsindex med uppskattning av abundans / täckningsgrad.....	10
Luftkvalitetsindex med känslighetsindex	10
Luftkvalitetsindex baserat på det totala artantalet	10
Luftkvalitetsindex baserat på ett urval av arter	11
Beräkning av luftkvalitetsindex	11
Lavkvalitetsindex	11
Kväveindex.....	11
Luftföroreningar i Stockholm.....	12
Svaveldioxid.....	12
Kväveoxider	13
Resultat.....	14
Jämförelse med Skyes resultat	16
Diversitet	16
Abundans.....	19
Luftkvalitetsindex.....	20
Lavkvalitetsindex	20
Kväveindex.....	21
Diskussion	23
Tack.....	24
Referenser.....	24

Sammanfattning

Lavarna är tillbaka i Stockholms innerstad. Totalt hittades 27 arter i innerstaden på träd under en undersökning år 2001. Resultatet jämfördes med en studie gjord av Skye 1968, för att se hur lavfloras situation har ändrats sedan 1960-talet, då Stockholms innerstad var en s.k. "lav-öken". På 89 ekar och almar inventerades vardera två ytor på 11 cm × 11 cm, en yta på nordsidan och en på den södra sidan av träden. Floran i Stockholms innerstad skiljer sig från floran i referensområdet utanför Stockholm. Innerstadens flora har lägre diversitet och ett högre antal kvävegynnade arter. Ökningen av antalet arter har åstadkommit p. g. a. minskningen av luftföroreningar sedan sextioalet. Det höga antalet nitrofila arter beror troligtvis på de höga kväveutsläppen från bilavgaser. Lavfloran skiljer sig också åt mellan stadsdelarna i Stockholm. Även om det inte är statistiskt bevisat i alla avseenden så finns en trend som visar på att lavfloran på Södermalm har den lägsta diversiteten, sedan kommer Norrmalm och den rikaste lavfloran kan man finna på Kungsholmen. Norrmalm har det högsta totalantalet lavararter (en mer än Kungsholmen) men Kungsholmen har högst artantal / träd, en högre abundans av arter och även högre andel nitrofila arter.

Introduktion

De flesta lavar är känsliga för luftföroreningar, i synnerhet för SO₂ och kan därför användas som biologiska monitorer för luftkvalitet. I slutet av sextioalet inventerade Skye lavfloran i Stockholms innerstad (Skye, 1968) Vad han fann var nedslående, det fanns nästan inga lavar och detta berodde på luftföroreningarna. Sedan dess har luftkvaliteten förbättrats, i synnerhet så har halterna av SO₂ minskat drastiskt. Syftet med denna studie är att se hur lavfloras situation ser ut idag. Hypotesen att lavarna i innerstaden inkluderar en högre andel kvävegynnade arter än referensområdet, testas också. Ett annat syfte med studien är att göra framtida jämförelser möjliga. Studien är inte en fullständig inventering, endast små rutor på varje träd är inventerade. Andra lavararter har observerats utanför rutorna och på stenar men dessa är ej inkluderade i denna studie.

Metoder

De träd som har inventerats är alm *Ulmus glabra*, och ek *Quercus robur*. Dessa valdes för att få med floran från träd med både rikbark (alm) och fattigbark (ek). Ifall fler trädararter skulle ha använts hade antalet studerade träd behövt ökas på. Fältarbetet pågick under våren och försommaren år 2001. Provrutorna placerades på trädstammen 150 cm ovanför markytan. Ett plastnät, 11 cm × 11 cm nålades fast på trädet. Två provrutor inventerades på varje träd, en på nordsidan och en på sydsidan. På ek placerades ytterligare en ruta på den västra sidan, då ek förmodades ha en lägre abundans av lavar. Provrutan var uppdelad i 16 stycken smårutor (2,5 cm × 2,5 cm) och antalet smårutor varje lavart fanns i noterades. Omkretsen på trädet mättes med ett måttband 150 cm över markytan, med en noggrannhet på 1 cm. Barksprickornas djup mättes med en linjal med en noggrannhet på 1 mm. Fyra mått togs, ett i varje hörn av provrutan, för att sedermera räkna fram ett medelvärde.

Små hjälmrosett/finlav *Physcia adscendens / tenella*, var omöjliga att artbestämma, så dessa noterades bara som "*Physcia* sp.". Stadskantlav *Lecanora conizaeoides* noterades bara när de hade apothecier. Lavindivider som var för små för att artbestämma noterades helt enkelt som "för små för att bestämmas". Namngivningen och artbestämmandet följer Krog m. fl. (1994) och Foucard (2001).

Statistiken har analyserats med hjälp av MiniTab 13. Variansen studerades med hjälp av ANOVA. I analysen användes de tre områdena Södermalm, Norrmalm och Kungsholmen. Området Skeppsholmen exkluderades för att balansera data. Det gick nämligen inte att öka antalet träd från 8 till 13 här, eftersom det inte fanns fler almar och ekar i området. Endast rutorna placerade på syd- och nordsidan av träden har använts. För att lättare jämföra de olika områdena har jag använt mig av tre index (se sid. 10).

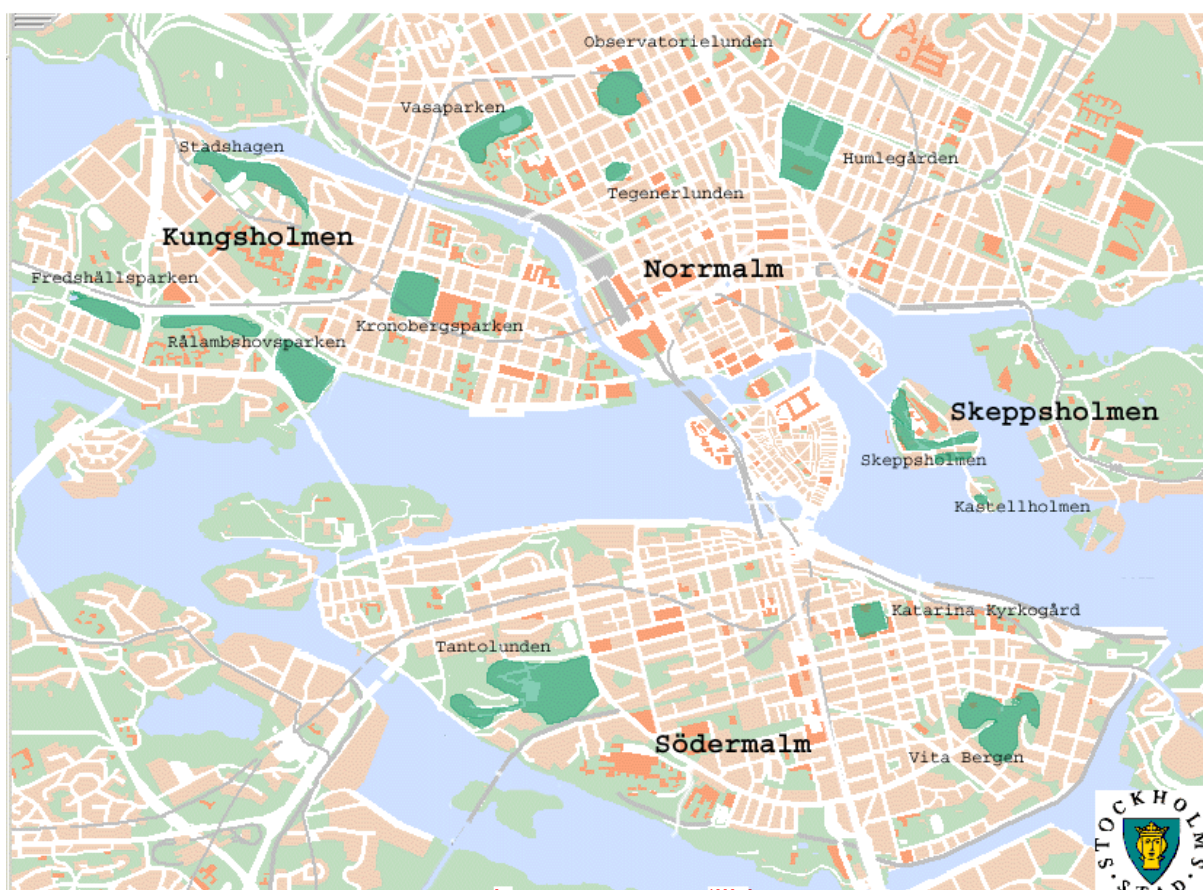
Studerade områden

Stockholms innerstad

Jag har valt att endast studera träd i innerstaden, eftersom det var här Skye hittade minst antal lavar och luften här är mest förorenad. Detta gör det lättare att studera skillnaden mellan lavarnas situation under 1960-talet och situationen idag. Stockholms innerstad är i denna undersökning definierad som Kungsholmen, Södermalm, Skeppsholmen, Gamla Stan och Norrmalm upp mot Norrtull och Roslagstull (Figur 1). Med de utvalda parkerna har jag täckt in områden där Skye både fann och inte fann några lavar. Skye studerade träd spridda över hela innerstaden (och även i förorter). Detta var inte möjligt i denna undersökning då alm och ek inte växer i alla parker och vanligtvis inte används som alléträd. Träden i denna undersökning växer istället i parker, utspridda över innerstaden (Figur 1). De valda parkerna i varje område (med område menas i denna studie de olika delarna av Stockholm: Södermalm, Kungsholmen, Skeppsholmen eller Norrmalm) kan ses på kartan i Figur 1 och i Tabell 1.

Tabell 1. Områdena och de parker i Stockholms innerstad som undersöktes.

Område	Undersökta parker/ställen
Södermalm	Tantolunden, Vita Bergen, Katarina kyrkogård
Norrmalm	Vasaparken, Observatorielunden, Tegnérslunden, Humlegården
Kungsholmen	Stadshagen, Kronobergsparken, Rålambshovsparken, Fredhällsparken
Skeppsholmen	Skeppsholmen, Kastellholmen



Figur 1. De undersökta parkerna är markerade med mörkare grönt. Kartan kommer från Stockholmskartan (http://www.map.stockholm.se/kartago/hlp/frames_kartago_sth.htm) och har sedan modifierats av författaren i Photoshop.

Träden i de undersökta parkerna har valts ut slumpmässigt, där detta har varit möjligt. Annars har alla träd i parken undersökts. Där det har varit möjligt har träden i kanterna undvikits för att komma undan kanteffekten. I många parker fanns inte både alm och ek. Då har bara ett av trädslagen inventerats. Extremt stora träd, med en omkrets på över 450 cm har ej inventerats, likaså små träd med en omkrets under 30 cm, för att minska variationen. Totalt undersöktes 13 ekar och 13 almar i varje område, förutom på Skeppsholmen där endast 8 träd av varje art undersöktes.

Referensområdet

Resultaten jämfördes med ett referensområde, en skog med låg kväveförorening. Referensområdet är naturreservatet Västerängsudd i Sigtuna kommun. Det ligger på en udde i Mälaren 5 km sydväst om Märsta och 35 km nordost om Stockholms innerstad. Området består till största delen av ädellövskog, som domineras av ek *Quercus robur*, alm *Ulmus glabra*, ask *Fraxinus excelsior* och hassel *Corylus avellana*. I området finns också öppen mark och hela området betas av nötkreatur. Skogen är lite tätare än parkerna i innerstaden, därför har träd i de tätaste delarna undvikits för att underlätta jämförelsen. Västerängsudd har högt naturvärde och är ett populärt utflyktsmål för det rörliga friluftslivet. Syftet med reservatet är att skydda ädellövskogen och habitat för blomväxten Tidlösa *Colchicum autumnale* (www.ab.lst.se).

Skyles inventering

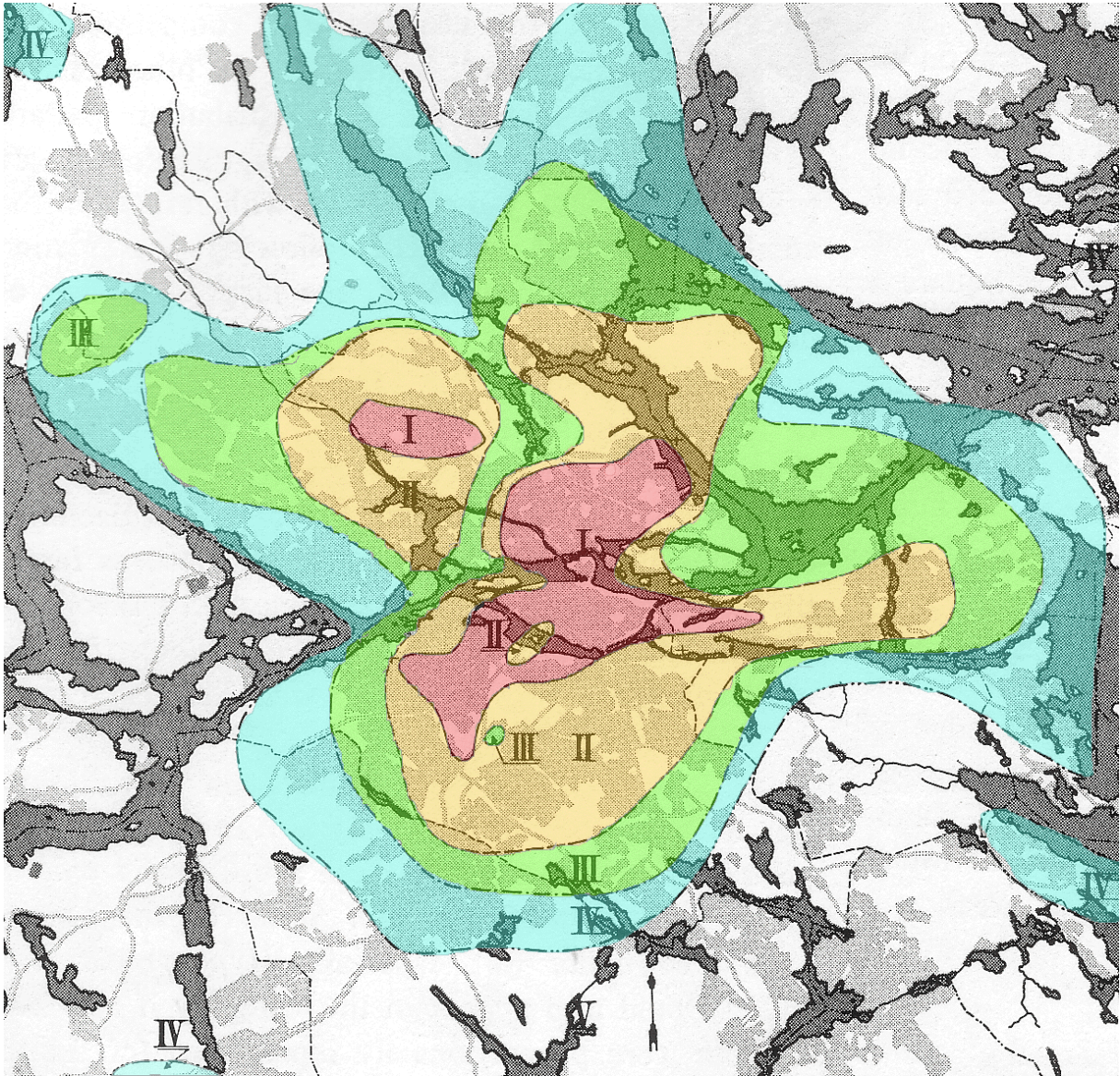
Skyles doktorsavhandling ”Lavar och luftföroreningar” publicerades 1968. Syftet med hans studie var att studera utbredningen och sammansättningen av lavar i Stor-Stockholm. Han analyserade även miljöförhållandena i innerstaden för att se om dessa påverkade lavarna. Skye ville se om lavarna påverkades av luftföroreningarna och om lavarna kunde användas som bioindikatorer för luftföroreningar. Teorin om att SO₂-föroreningar var det som orsakade lavöken i städerna var vid den här tiden kritiserad av bl.a. Rydzak (citerad i Skye, 1968). För att visa att det verkligen var SO₂ som skadade lavarna gjorde Skye ett experiment där han visade att lavarna dog efter att ha blivit utsatta för höga halter av SO₂. Skyles undersökning var större omfattade ett större geografiskt område än min undersökning. Han inventerade totalt 654 träd på 607 platser runt hela Stockholm, både i innerstaden och i förorter. Han valde träden som skulle inventeras subjektivt. När det fanns flera möjliga träd valde han det med flest lavararter på. Skye inventerade hela trädstammen upp till 2,5 meters höjd, och alla arter noterades (Skye, 1968). Skyles data är sålunda svåra att hantera statistiskt.

Skye kom fram till att Stockholms innerstad var nästan helt utan lavar. På några ställen fanns några få exemplar av stadskantlav *Lecanora conizaeoides* och vissa exemplar av blåslav *Hypogymnia physodes* hittades också (Skye, 1968). Han klassificerade lavarna i fem olika klasser beroende på deras utbredning:

- 1A) Arter som tränger in mot centrum av området, och som finns i en ring runt centrum men minskar i områdets (Stockholms) ytterkanter
- 1B) Arter som tränger in mot centrum av området och som finns både i centrum och i periferin.
- 2A) Arter som bara tränger in lite i det undersökta området och inte finns på träd i ytterområdena.
- 2B) Arter som bara tränger in lite i det undersökta området, men som också finns på träd i ytterområdena.
- 3) Arter som bara förekommer i periferin.

Hur Skye klassificerade de arter funna i min undersökning syns i Tabell 2 (sid. 16) Han fann, liksom Sernander (1926) en övergångszon mellan området utan lavar och områden med en nästan normal lavflora. Skye delade upp Stockholm i fem olika geografiska zoner (Figur 2).

- I. Område utan eller nästan utan lavar.
- II. De få arter som finns här kan ibland vara ganska vanliga.
- III. Här finns arter från zon II och arter från klass 2A och 2B (se ovan).
- IV. Här adderas arterna från klass 3 till de övriga, men arter från klass 1A och 2A minskar.
- V. En normal eller nära normal lavflora.



Figur 2. Zonerna Skye (1968) delade in Stockholm i. Zon 1 är nästan utan lavar och zon V har en normal lavflora (Det är de delarna som ej är färglagda). Färgerna är pålagda av mig i efterhand för att tydliggöra zonindelningen.

Lavar och luftföroreningar

Så tidigt som under 1800-talet gjordes observationer om att lavar är känsliga för luftföroreningar. I Sverige noterade Sernander (1926) hur lavar blivit skadade av föroreningar. Han myntade begreppet "lavöken" för att beskriva delar av centrala Stockholm där det knappt fanns några lavar på trädstammarna. Områden utanför, där lavar till en liten del hade koloniserat träden kallade han "kampzonen". Därefter kom den "normala zonen" där det fanns gott om lavar.

Sedan dess har många studier gjorts på luftföroreningarnas effekter på lavar och hur man skall kunna använda lavar för att kontrollera luftkvaliteten. Rose & Hawksworth (1970) gjorde en skala för engelska skogar, där de relaterade förekomsten av lavar till vintermedelvärdet av uppmätta SO₂-halter. Studier i Köpenhamn visar att SO₂-halter stämmer väl med de inre

gränserna för lavarnas utbredning. Detta gjorde det möjligt att bestämma kritiska SO₂-halter för några lavararter (Johnsen, 1973). Studier i Göteborg har visat att antalet lavararter minskar med ökade halter av SO₂ (Arvidsson & Skoog, 1984).

Hur och varför lavar påverkas

Det finns flera förklaringar till varför just lavar är så känsliga för luftföroreningar.

- Utbytesmekanismerna mellan algen och svampen är så pass känsliga att bara en liten påverkan kan ge dödliga effekter på koldioxidfixeringen, respiration, klorofyll- och vattenbalansen (Kapanen, 1994).
- Lavar växer sakta och utsätts därmed under en lång tid (Kapanen, 1994).
- Att lavar inte har klyvöppningar och kutikula gör det möjligt för gaser att absorberas över hela båltytan, och snabbt diffundera ned till det fotosyntetiserande skiktet (Gries, 1996). Även toxiska substanser tas upp och ackumuleras i laven (Kapanen, 1994).

Lavar kan påverkas av luftföroreningar på olika sätt. Enligt Hultengren et al (1991) kan skador på lavar orsakade av luftföroreningar indikeras av:

<u>Minskad vitalitet</u>	Detta kan visa sig som deformation, ökad risk för infektioner och dvärgväxt.
<u>Minskad fertilitet</u>	Arter som vanligtvis har fruktkroppar kan vara infertila i starkt förorenade områden.
<u>Byte av substrat</u>	Arter som växer på sur bark kan börja växa på mer basisk bark.
<u>Svampangrepp</u>	”Lavdödarsvampen” <i>Athelia arachnoidea</i> med de karaktäristiska vita fläckarna/ringarna på stammarna är mer vanlig i stadsområden.
<u>Minskat antal arter</u>	Många känsliga arter försvinner.
<u>Missfärgning</u>	Många arter blir först röda och sedan vita.
<u>Ökning av toleranta arter</u>	Vissa ämnen i föroreningarna gynnar vissa arter och dessa arter kommer att öka. Detta kan förklaras med den minskade konkurrensen från de känsligare arterna.
<u>Lav-död</u>	Till slut efter att ha blivit utsatta för höga halter under alltför lång tid dör lavarna.

Under 1979 jämfördes lavfloran i botaniska trädgården i Göteborg med en inventering gjord i samma område 1961. Bara 38 utav 65 arter återfanns 1979. Många epifytiska lavar hade bytt substrat. Arter som vanligen växer på träd med surare bark, t. ex. björk, växte nu på ädellövträd. Detta förklarades av försurningen av barken som åstadkommit av det sura regnet (Arvidsson & Lindström, 1980).

Skillnaden i lavsammansättning är inte bara beroende av föroreningshalter. Olika lavararter har olika ekologiska krav, på t. ex. substratkvalitet, ljusställgång, luftfuktighet och kontinuitet (Hultengren et al., 1991).

På senare år har många studier försökt få fram vad det är för ämnen i föroreningarna som påverkar lavarna mest. Inte alla lavar reagerar lika på luftföroreningar, olika arter har olika känslighet för olika föroreningar. Vissa arter är mer känsliga än andra för NO₂, medan nästan alla lavar förutom stadskantlav *Lecanora conizaeoides* är känsliga för SO₂, (van Dobben m. fl., 2001). Denna art kan reagera positivt på en ökning av SO₂, men exponeras den för riktigt höga halter dör även denna lav (Hauck m. fl., 2001).

I en studie fann van Herk (1999) att 60 utav 65 lavararter reagerade på någon av de tre föroreningarna SO₂, NO₂ and NH₃, men ingen var känslig mot alla tre av dessa ämnen. De flesta arter reagerade negativt på SO₂ och han drog slutsatsen att artantal kan indikera halten av SO₂, men kan inte indikera den generella halten av luftföroreningar. I vissa situationer kan dock halten av SO₂ spegla den generella föroreningshalten i området (van Herk, 1999). När man jämförde en lavbiodiversitetskarta och en karta över dödligheten hos människor i en stor del av Italien, visade sig en stark korrelation mellan antalet lavararter, luftföroreningar och lungcancer. Det är inte SO₂ i sig själv som orsakar cancer, men den reflekterar den långväga transporten av föroreningar, som kan ha carcinogena effekter (Cislaghi & Nimis, 1997).

Lavarnas känslighet mot SO₂ och NO₃ och känsligheten mot kombinationen av de två ämnena har också analyserats (Balaguer & Manrique, 1991). Lavarna som studerades var *Anaptychia ciliaris*, *Evernia prunastri* och *Ramalina farinacea*. Resultatet visade på skilda responser till SO₂ och NO₃. NO₃ stimulerade och SO₂ inhiberade tillväxten, men när lavarna utsattes för en kombination av dessa ämnen fann man en synergistisk inhiberade effekt. Kombinationen av SO₂ och NO₃ var skadligare än bara SO₂ (Balaguer & Manrique, 1991).

I en italiensk studie visades att avsaknaden av lavar i en stadsmiljö var orsakad av den höga NO_x föroreningen. SO₂-halten i området var låg och den största delen av föroreningar kom från trafiken (Loppi m. fl., 1996).

Den artspecifika känsligheten hos lavar kan delvis förklaras av den artspecifika känsligheten hos deras alger. Marti (1983) visar i ett experiment med olika lavars alger att algernas respons till SO₂ och NO_x skiljer sig åt. *Parmelia sulcatus* alg visade låg känslighet för SO₂ medan algen hos *Usnea floridas* var väldigt känslig. När han testade NO_x visade det sig att detta ämne inte var lika toxiskt men att många alger, t. ex. den hos *Ramalina fraxineas*, visade en hög känslighet för NO_x. Andra arters alger t. ex. hjälmrosettlav *Physcia adscendens* visade ingen känslighet. För många arter fanns en klar korrelation mellan känsligheten hos algen och hos hela bålen. Hos viss arter t. ex. örlav *Hypotrachyna (Parmelia) revoluta* skilde sig algens känslighet från vad man skulle kunnat ha förväntat sig från ekologiska studier av laven (Marti, 1983).

Rose & Hawksworth (1981) studerade lavarnas rekolonisering av London i början av 1980-talet. Halterna av SO₂ hade då fallit med 50 % sedan 1960-talet, vilket hade resulterat i en ökning av lavantalet. Författarna fann sina resultat uppmuntrande, men man ansåg också att det för att få tillbaka många av de försvunna arterna krävdes ytterligare en dramatisk minskning av SO₂-halterna (från 130 till ca 40-50 µm/m³) och detta var enligt dem inte troligt (Rose & Hawksworth, 1981). Men redan 10 år senare hade SO₂-halten fallit från 130 till 29-55 µm/m³ i det studerade området och Hawksworth & McManus (1989) genomförde därför

ytterligare en studie. De fann att lavfloran hade ökat och att busk- och bladlavarna numera fanns i parker i centrala London (Hawksworth & McManus, 1989).

Nitrofila arter

Arter som gynnas av kväve, t. ex. släktena rosettlavar *Physcia*, vägglavar *Xanthoria* och kranslavar *Phaeophyscia*, kallas nitrofila arter (van Herk, 1999). I motsats till dessa finns de så kallade "acidofyter", som gynnas av sur bark, t. ex. slånlav *Evernia prunastri*, blåslav *Hypogymnia physodes*, stadskantlav *Lecanora conizaeoides* och gällav *Pseudevernia furfuracea* (van Herk, 1999). Studier gjorda på barkkemi visar att effekten av föroreningar på nitrofila arter inte primärt orsakas av den ökade tillgängligheten på kväve. Ökningen av barkens pH är viktigare. Ökningen av pH kan orsakas av NH_3 eller minskade halter av försurande ämnen som NO_x . I Nederländerna har det skett en förändring av lavfloran, antalet lavar har ökat i synnerhet nitrofila arter (van Dobben & ter Braak, 1998). Enligt Van Herk (1999) så beror detta på ökade utsläpp av ammonium. Men enligt Van Dobben & ter Braak (1998) har ingen ökning av utsläpp av detta ämne skett. De anser vidare att effekten av SO_2 på nitrofila arter är mycket starkare än effekten av NH_3 . De har istället alternativa förklaringar till att antalet nitrofila arter har ökat (Van Dobben & ter Braak 1998):

- Minskningen av SO_2 har startat en uppåtgående trend för barkens pH, vilket gynnar arter som föredrar hög bark-pH.
- Nitrofila arter koloniserar snabbare. Under naturliga förhållanden finns bark med högt pH på tillfälliga platser, som under barksår och under fågelbon (van Dobben & ter Braak, 1998).

Van Herk (2001) har kommit fram till att nitrofila arter inte är känsliga för SO_2 och deras primära behov är ett högt pH i barken. Han anser att användandet av lavbiodiversitet som kontroll av SO_2 -föroreningar måste modifieras, annars kan luftkvaliteten i ett område betraktas som god, även om det höga antalet nitrofila arter är en produkt av höga NH_3 -föroreningar.

ek bark har normalt ett pH på 4,5 och när detta ökas till 6,5 på grund av NH_3 -förorening har de flesta acidofyter blivit utbytta mot nitrofila arter (van Herk, 1999).

Index

För att jämföra lavfloran mellan olika geografiska områden finns olika index. Många av dessa bygger på att de olika lavarerna har olika känslighet för toxiska substanser (Hultengren m. fl., 1991). Områden med mindre luftföroreningar, i synnerhet låga halter av SO_2 , har en högre andel känsliga arter. Detta kan användas för att bestämma luftkvaliteten genom att studera lavarna. Index kan vara användbara när man jämför olika områden, men det finns problem med subjektivitet när man t. ex. uppskattar abundansen som täckningsgrad (Hultengren m. fl., 1991).

Känslighetsindex

Flera studier av lavar och luftföroreningar har resulterat i olika rankningssystem, efter hur känsliga lavarna är. Hultengren m. fl. (1991) har gjort en jämförelse mellan olika känslighetsskalor och kombinerat dem till ett index. I detta är lavarna indelade i klasser från 0 till 9, där 9 är de lavar som är mest känsliga (Hultengren m. fl., 1991). Ett känslighetsindex bygger på subjektiva bedömningar när man väljer vilket värde en lav ska ha (Hultengren m. fl., 1991). Ett känslighetsindex kan sedan användas för att räkna ut ett index för luftkvaliteten (se nedan).

Luftkvalitetsindex

Det finns olika sätt att räkna ut luftkvalitetsindex. Områden som får ett högt index har arter som är känsliga för luftföroreningar. Geebelen & Hoffman (2001) jämförde olika luftkvalitetsindex med uppmätta halter av SO₂. De flesta index gav signifikanta korrelationer med SO₂. De delade upp indexen i fyra generella grupper men det finns index som passar in i flera av grupperna (Geebelen & Hoffman, 2001).

Luftkvalitetsindex med uppskattning av abundans / täckningsgrad

Kvantitativa uppskattningar av abundans eller täckningsgrad ökade inte korrelationen med SO₂, och luftkvalitetsindexet (Geebelen & Hoffmann, 2001). Andra forskare, som citerades i Geebelen & Hoffmann (2001), har dock funnit en högre korrelation om abundans inkluderades i indexet. Detta kan enligt Geebelen & Hoffmann (2001) bero på att deras egen studie utfördes i ett urbant område, som var utsatt för mycket föroreningar och hade en utarmad lavflora, medan de andra studierna hade en artrikare flora. I en utarmad flora kan lavarnas vara eller icke vara, alltså antalet lavararter, ha större betydelse än abundansen, eftersom nästan alla arter bara förekommer i väldigt små kvantiteter (Geebelen & Hoffmann, 2001). Ett problem med kvantitativa mått är att vissa lavar har en väl utvecklad bål medan andra bara har en liten bål som är svår att se (Hultengren m. fl., 1991).

Luftkvalitetsindex med känslighetsindex

Dessa kan göras på olika sätt. Ett sätt är att undersöka alla lavar i ett område och sedan klassificera området efter den mest känsliga arten (Hultengren m. fl., 1991). Ett annat sätt att räkna ut luftkvalitetsindex är genom att kombinera känslighetsindex och frekvens, mätt som t. ex. täckningsgrad (Hultengren m. fl., 1991).

Luftkvalitetsindex baserat på det totala artantalet

Denna metod ger ett mera objektivt resultat, eftersom man inte subjektivt klassificerar lavarna. Däremot, eftersom man inte märker ut de känsligaste arterna, kan en flora i en skog få samma värde som en tolerant stadsflora, om de innehåller lika många arter. Denna metod bör därför användas tillsammans med andra metoder som visar lavarnas känslighet (Hultengren m. fl., 1991).

Luftkvalitetsindex baserat på ett urval av arter

Denna grupp index använder sig av bara ett urval av arter, vilka har en vid ekologisk amplitud men är känsliga mot SO₂. Detta sätt att använda sig av speciella bioindikatorer ökade korrelationen mellan luftkvalitetsindexet och SO₂ i jämförelse med att ha använt alla lavararter (Geebeelen & Hoffmann, 2001).

Beräkning av luftkvalitetsindex

Luftkvalitetsindexet som används i denna undersökning är taget från en indexuträkning presenterad i Hultengren m. fl. (1991) (De Slover gjorde originalet 1964). Indexet är baserat på ett känslighetsindex kombinerat med frekvensen av lavarterna. Hultengren m. fl. (1991) använde sig av "Barkman's känslighetsindex" i sina beräkningar, däremot använder jag Hultengrens kombinerade index (se sid. 10) i mina beräkningar. Detta luftkvalitetsindex räknas ut per träd och sedan räknas ett medelvärde ut för hela området.

$$\text{Luftkvalitetsindex} = n/100 \times \sum_{i=1}^n (F_i \times Q_i)$$

n = antal lavararter på trädet

F_i = frekvensen av den specifika arten

Q_i = den specifika lavartens känslighetsindex (0-9)

Lavkvalitetsindex

Hultengren m. fl. presenterar också ett lavkvalitetsindex (1991). Detta index räknas ut per trädslag och per område. Alla lavararter används i beräkningen.

$$\text{Lavkvalitetsindex} = 1/t \times \sum_{i=1}^n (Q_i \times f_i)$$

Q_i = varje lavs känslighetsindex (0-9)

f_i = antal träd där den specifika laven är funnen

t = antalet studerade träd

Kväveindex

Det är möjligt att räkna ut ett kväveindex, genom att använda kvävetalen (Tabell 2) som används i Hultengren m. fl. (1991) (dessa presenterades först av Wirth (1980)). Talen valdes beroende på lavens kväve- och näringsbehov. Arter som växer på näringsrika och kväverika substrat har ett högt kvävetal och lavar som växer på substrat med låg näringshalt har ett lågt värde (Hultengren m. fl., 1991). Kvävetalens skala är 0-4. Områden med ett högt kväveindex har arter som gynnas av näringsrika substrat.

Detta index räknas ut på liknande sätt som luftkvalitetsindexet, men med kvävetal istället för känslighetsvärden. För att få ett mått på andelen kvävegynnade arter divideras summan av frekvensen \times kvävetalet med den totala abundansen av lavar i provrutan.

$$\text{Kväveindex} = 1/A \sum_{i=1}^n (F_i \times N_i)$$

N_i = kvävetal (0-4) för den specifika lavarten

F_i = frekvens, mått som abundansen av den specifika laven

A = total abundans av lavar i provrutan

Detta index är också uträknat per träd och därefter räknas ett medelvärde fram för varje område.

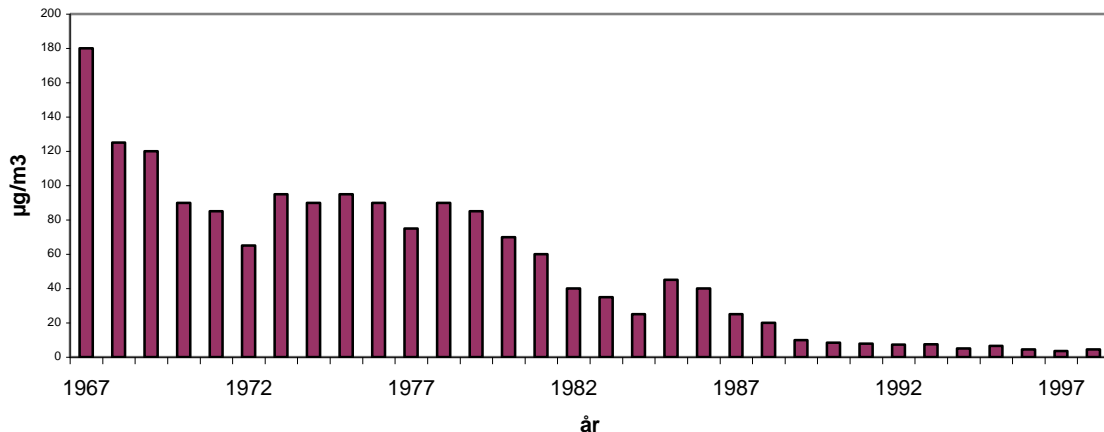
Luftföroreningar i Stockholm

Stockholm har ett intensivt program för kontroll av luftkvaliteten. Stockholms län och Uppsala län samarbetar i ett luftkontrolleringsprogram och utöver detta kontrolleras luften i centrala Stockholm kontinuerligt. Detta görs med direkta mätningar, utsläppsinventeringar och modellering (Burman m. fl., 2001).

Fram till i början av 1970-talet var luftföroreningarna i Stockholm dominerade av utsläpp från energiproduktion (Presentation of Stockholm environmental program Miljö 2000, 1996) och från industrier. Men nu får trafiken en allt mer betydande roll, då Stockholm numera bara har ett fåtal förorenande industrier (Presentation of Stockholm environmental program Miljö 2000, 1996). I gatumiljön är föroreningssituationen direkt beroende av mängden och typ av trafik tillsammans med köntensiteten (Burman m. fl., 2001).

Svaveldioxid

Svaveldioxidhalterna har fallit drastiskt sedan 1960-talet, under vintern 1967-68 var SO_2 halten på Södermalm ca $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figur 3) (Susann Östergård, pers. komm.) och idag ligger halten på $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Burman m. fl., 2001). Detta är resultatet av lägre svavelhalter i eldningsolja, utbyggnad av fjärrvärmenätet och reningsutrustning i kraftverken (Susann Östergård, pers. komm.). Fjärrvärmesystemet har en effektivare förbränning och utsläppen av föroreningar sker på en högre höjd (Burman m. fl., 2001). Under 1990-talet fortsatte minskningen (Figur 3) men inte i samma hastighet som förut (Burman m. fl., 2001). Det är viktigt att lägga märke till att de värden som presenteras här är medelvärden. Halterna varierar över året och det är de extremt höga värdena som skadar lavarna. Miljökvalitetsnormen för SO_2 är $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (medelvärde uträknat per timme) och detta understegs med god marginal ($1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Men maxvärdet för år 2000 var $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (detta år hade det lägsta uppmätta medelvärdet p. g. a. den milda vintern) och år 1999 var maxvärdet $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Burman m. fl., 2001).



Figur 3. Ungefärliga vintermedelvärden SO₂ för Stockholm (Burman & Höglund, 1999). Åren 1967-68 till 1990/91 kommer från ett diagram gjort för Miljöförvaltningen i Stockholm (Susann Östergård, pers. Komm.) och de sista åren kommer från Burman m. fl. (2001).

Energiproduktion är fortfarande den största källan till SO₂-föroreningar. Detta resulterar i högre halter under vinterhalvåret, eftersom mer uppvärmning behövs under denna tid. Sedan 1990 har svavelhalterna på Södermalm minskat med 60 % (Burman & Höglund, 2000). 30% av SO₂ är lokalt producerad (Trafikmiljöprogram för Stockholm). Även om föroreningar från trafiken är en liten del av de totala SO₂-utsläppen kan trafikutsläpp stå för majoriteten av SO₂-halten i Stockholms innerstad (Pettersson & Jonson, 2001).

Stockholm har lägre halter av SO₂ än Göteborg och Malmö. Halterna ökar i södra Sverige, p. g. a. närheten till de stora industrierna i Centraleuropa (Burman & Höglund, 2000).

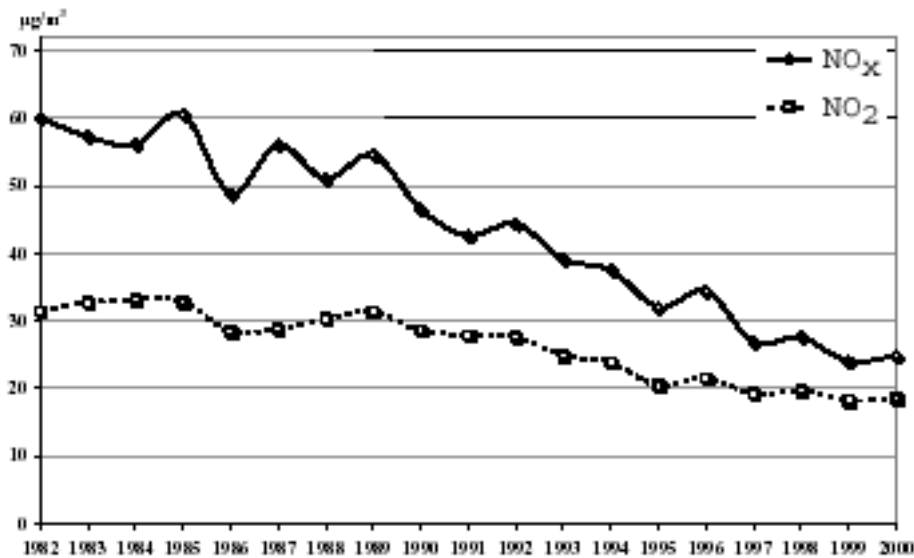
SO₂ skadar inte bara lavarna, de åstadkommer också försurning av mark och vatten och astma, nedsatt lungfunktion och andningssvårigheter hos människor (Burman m. fl., 2001).

Kväveoxider

Trafiken i Stockholms innerstad har ökat dramatiskt sedan 1950-talet, förutom runt 1990 då trafiken faktiskt minskade, men sedan dess har den åter igen ökat. (Trafikmiljöprogram för Stockholm). Trafiken står för de största utsläppen av NO_x. I Stockholms innerstad är 60 % av kväveföroreningarna producerad lokalt (12 kg/ha/år) och trafiken står för 60 % av detta (Trafikmiljöprogram för Stockholm). Av föroreningarna från bilar är 90 % NO, vilket inte är så farligt för hälsan, men NO reagerar snabbt med ozon bildar NO₂ vilket är ett ohälsosamt ämne. Under vår och sommar är halterna av NO₂ högst p. g. a. höga halter av ozon (Burman & Höglund, 2000).

Halterna av kväveföroreningar har också minskat (Figur 4), i synnerhet under 1990-talet p. g. a. den ökade användningen av katalysatorer i bilar. Men i vissa delar av Stockholm, runt gator med mycket trafik, är minskningen nästan obefintlig. Under 1999 överstegs miljö kvalitetsnormen för NO₂ på gator med mycket trafik (Burman & Höglund, 2000). Det högsta medelvärdet (uträknat per timme) var år 2000 på Södermalm (Hornsgatan) 228 µg/m³,

och på Norrmalm (Sveavägen) 144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Miljökvalitetsnormen (uträknad per timme) är 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och detta får ej överstigas mer än 175 gånger /år. På Södermalm överstiges detta värde 579 gånger och på Norrmalm 164 gånger (Burman m. fl., 2001). Den svenska miljökvalitetsnormen är striktare än den som Europeiska Unionen har satt (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) men EU:s norm får ej överstigas mer än 8 gånger /år (Jonson m. fl., 1999).

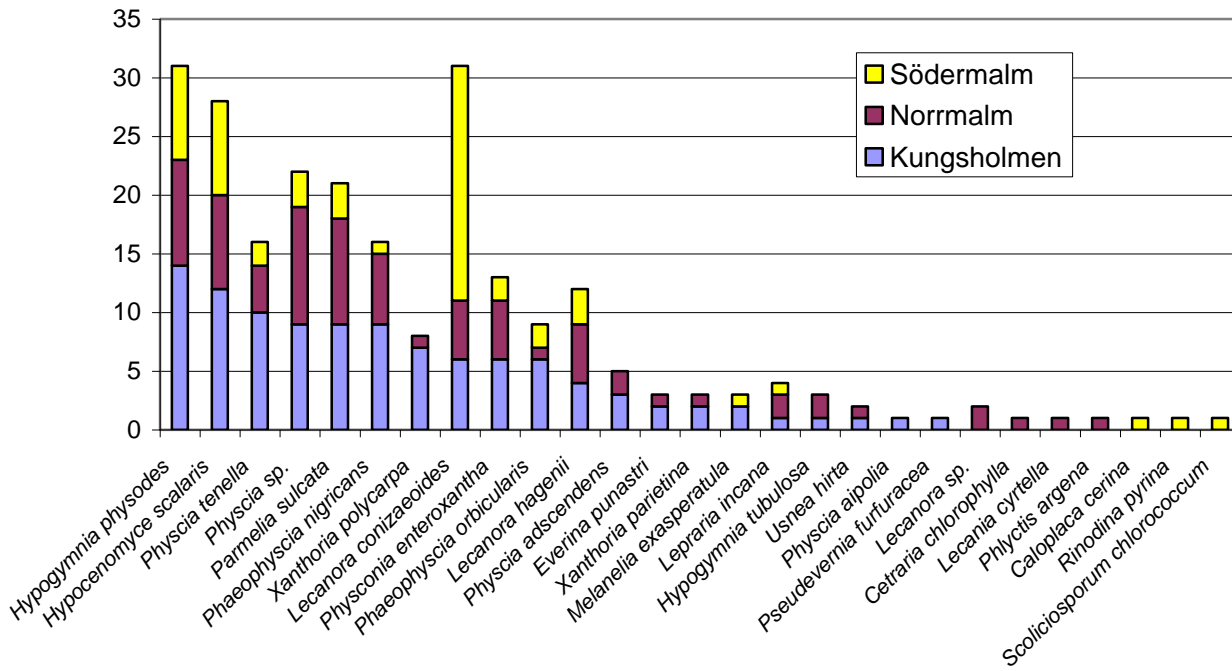


Figur 4. Det årliga medelvärdet för NO_x (den svarta linjen) och för NO₂ (den streckade linjen) vid takhöjd på Torkel Knutssongatan (Södermalm) (Burman m. fl., 2001).

Kväveoxider orsakar liksom SO₂ försurning av mark och vatten, men också övergödning och hälsoproblem såsom minskat immunförsvar, astma, nedsatt lungfunktion, andningssvårigheter och är en möjlig orsak till cancer (Burman m. fl., 2001).

Resultat

Totalt inventerades provrutor på 89 träd i Stockholms innerstad, och 27 lavararter hittades. Vanligast var flarnlav *Hypocenomyce scalaris* (33 % av provrutorna) följd av blåslav *Hypogymnia physodes* (27 %) och stadskantlav *Lecanora conizaeoides* (26 %). I de tre områdena som användes i ANOVA var de vanligaste arterna stadskantlav *Lecanora conizaeoides* och *Hypogymnia physodes* som båda fanns på 31 träd (Figur 5). Stadskantlav *Lecanora conizaeoides* räknades bara när de hade apotesier, vilket kan ha lett till en underskattning av antalet förekommer. Områdena i Stockholm innerstad skiljer sig från referensområdet Västerängsudd och även inom Stockholms innerstad finns skillnader. Skillnaderna ligger både i vilka arter som finns, artantal och abundansen av arterna. På Kungsholmen var blåslav *Hypogymnia physodes* vanligast, på Norrmalm var det rosettlav *Physcia* sp. och på Södermalm stadskantlav *Lecanora conizaeoides*. I alla tre områdena är det ett fåtal arter som dominerar, men det finns även ett antal arter som bara finns på mindre än fem träd (Figur 5). I alla tre områdena finns även lavar som bara finns inom just detta område, t. ex. rosettlav *Physcia aipolia* finns bara på Kungsholmen och *Rinodina pyrina* hittades bara på ett träd på Södermalm.



Figur 5. Antalet träd varje lav hittats på i de olika områdena i Stockholm innerstad.

De flesta funna lavarna var små och många av dem i ganska dåligt tillstånd. Några träd var vandaliserade av bl.a. klotter. Jag vet inte hur detta påverkar lavarna.

Det fanns vissa arter som inte hade något känslighetsindex eller kvävetal (Tabell 2). För dessa har jag föreslagit värden. *Lecanora sp.* fick samma värde som *Lecanora hagenii*. *Physcia sp.* fick medelvärden av finlav *Physcia tenella* och hjälmrosettlav *Physcia adscendens* (känslighetsindex: 3,5 och kvävetal: 2). *Rinodina pyrina* fick värdet 0 för de känslighetsindex och kvävetal.

Tabell 2. Lavar som hittades i Stockholms innerstad. Känslighetsindex och kvävetal följer Hultengren m. fl. (1991). Skyes klassifikation är från hans avhandling (1968). Arter som ej har något värde är markerat med “-”.

Lavarter	Påträffande i provrutur	Känslighetsindex	Kvävetal	Skyes klassifikation
<i>Caloplaca cerina</i>	1	5	1,5	2B-3
<i>Cetraria chlorophylla</i>	1	4	0	1B
<i>Evernia prunastri</i>	4	5	0,5	2B
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	82	2	0	1B
<i>Hypogymnia physodes</i>	67	2	0,5	1A
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	4	5	0	3
<i>Lecania cyrtella</i>	1	5	1	-
<i>Lecanora conizaeoides</i>	63	0	1	1A
<i>Lecanora hagenii</i>	17	1	1,5	3
<i>Lecanora sp.</i>	4	1	1,5	-
<i>Lepraria incana</i>	12	1	0	1B
<i>Melanelia exasperatula</i>	4	4	1,5	3
<i>Parmelia sulcata</i>	34	3	0,5	1B
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	27	4	1	3

<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	13	3	1	2B
<i>Phlyctis argena</i>	1	4	0,5	2B
<i>Physcia adscendens</i>	5	4	2	3
<i>Physcia aipolia</i>	1	5	1	3
<i>Physcia sp.</i>	41	3,5	2	-
<i>Physcia tenella</i>	25	3	2	2B
<i>Physconia enteroxanta</i>	20	3	1,5	2B
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	3	4	0	2A
<i>Rinodina pyrina</i>	1	0	0	-
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	2	1	2	1A
<i>Usnea hirta</i>	3	5	0	3
<i>Xanthoria parietina</i>	3	3	1,5	2B
<i>Xanthoria polycarpa</i>	12	5	1	3
För små för att bestämmas	82			

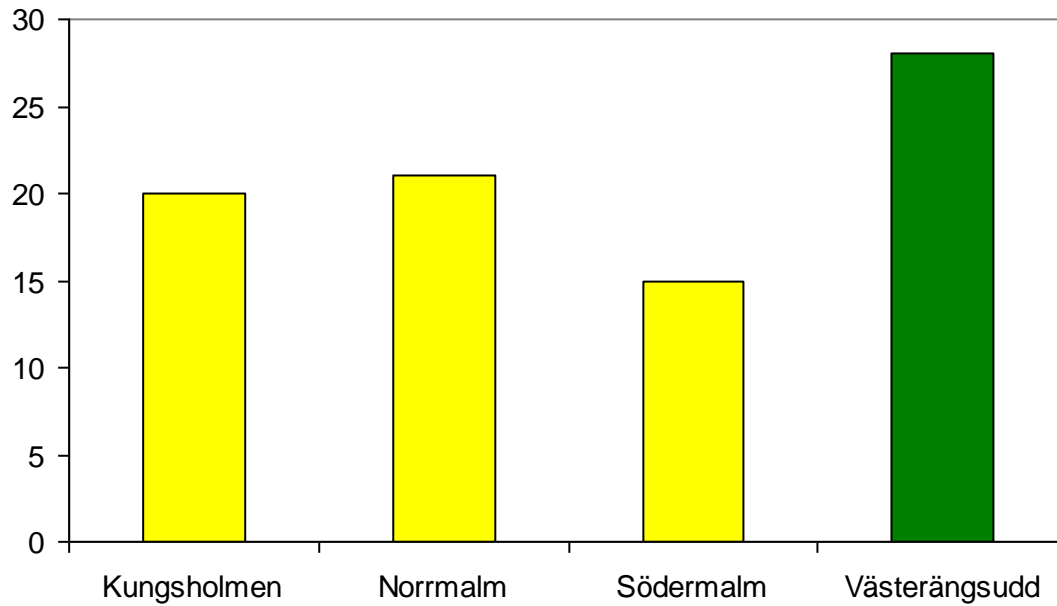
Jämförelse med Skyes resultat

Vilket påpekats tidigare fann Skye (1968) få lavar i Stockholms innerstad. Resultatet av min studie är svårt att jämföra med Skyes, eftersom han bl.a. valde de inventerade träden subjektivt, inventerade flera trädslag och inventerade nästen hela stammen på träden. Huvuddelen av mina undersökta lokaler ligger i Skyes zon 1, den som då var utan lavar, och nu fann jag här 27 arter. De få arter som Skye ändå fann, hittade han på Kungsholmen och Södermalm. Detta kan jämföras med att jag kom fram till att Södermalm hade den lägsta artdiversiteten och Norrmalm det högsta antalet arter.

För att Skye skulle finna luddig skägglav *Usnea hirta* fick han gå hela vägen till Skarpnäck (ca 10 km sydväst om innerstaden) eller till Lovön (ca 13 km öster om innerstaden) (Skye, 1968). Idag finns luddig skägglav *Usnea hirta* i t. ex. Vasaparken på Norrmalm. Mångfruktig vägglav *Xanthoria polycarpa* (en nitrofil art) fanns på sextioalet inte närmare stan än Hässelby (ca 15 km nordöst om Stockholm) (Skye, 1968) och idag hittades den i 12 provrutor i Stockholm innerstad.

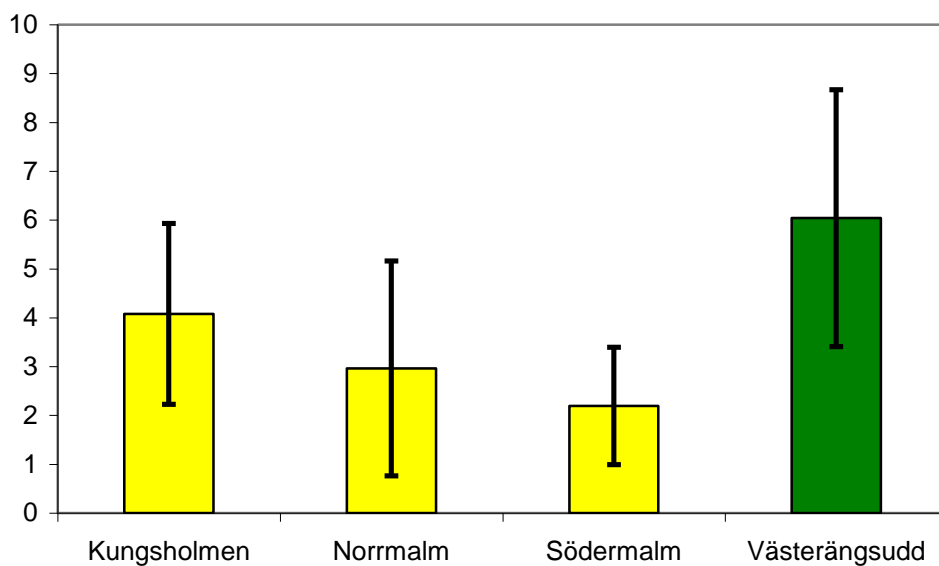
Diversitet

I innerstaden har Norrmalm det högsta antalet arter, 21 (Figur 6). När man använder det balanserade dataset som användes i ANOVA är Norrmalm följd av Kungsholmen, som endast har en lavart mindre. Södermalm har det lägsta artantalet, bara ca hälften av det artantal som finns i referensområdet (Figur 6).



Figur 6. Det totala antalet lavar funna i de olika områdena.

När man mäter diversiteten som antal lavar/träd, har Södermalm även här det lägsta värdet med ett medelvärde på 2,2 arter/träd och Kungsholmen har det högsta med 4,1 arter / träd. (Figur 7). Tukeys test visar ingen signifikant skillnad mellan Kungsholmen och Norrmalm eller mellan Södermalm och Norrmalm. Den enda signifikanta skillnaden är mellan diversiteten på Södermalm och på Kungsholmen. Mellan innerstaden och referensområdet är det också en signifikant skillnad, Västerängsudd har ca dubbelt så många lavar / träd som innerstaden (Figur 7) Diversiteten är inte styrd av vare sig barkdjup eller omkrets på träden.



Figur 7. Medelvärden för antalet lavar/träd i de olika områdena. Felstaplarna visar standardavvikelsen.

Det finns ingen signifikant skillnad mellan antalet arter/träd för alm och ek (Tabell 3). Även om alm och ek har olika lavararter (Tabell 4), så varierar inte det totala antalet lavar/träd mellan de två trädslagen. Den extra provrutan på den västra sidan på ek har ej använts i analysen, men när det totala artantalet räknades ut användes den. På alm var de vanligaste lavarna (de som påträffades på flest träd) i Stockholms innerstad *Physcia* sp. och *Phaeophyscia nigricans* och på ek var de vanligaste arterna *Hypogymnia physodes* och *Hypocenomyce scalaris* (Tabell 4).

Tabell 3. Analys över variansen av arter/träd (ANOVA). DF: frihetsgrader, SS: summa av kvadraten, MS: kvadratens medelvärde.

Source	DF	SS	MS	F	P
tree	1	7,1	7,1	0,09	0,769
Error	6	452,7	75,5		
Total	7	459,8			

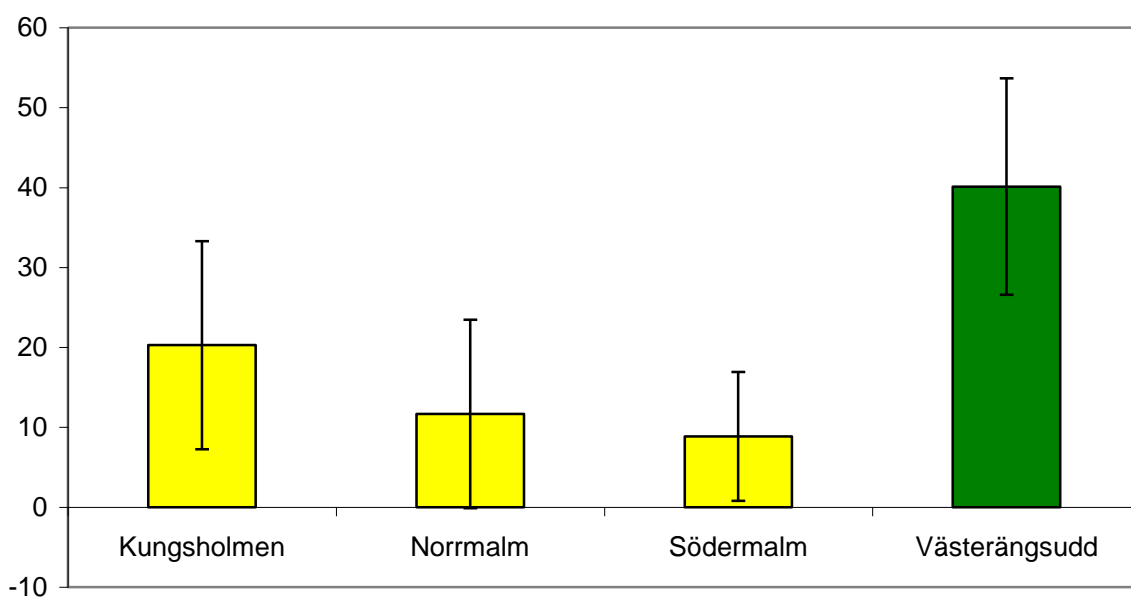
Tabell 4. Abundans och påträffande i provrutot för de olika trädslagen alm och ek.

	Abundans (antal smårutor laven fanns i)		Antal påträffanden i provrutor	
	ek	alm	ek	alm
	<i>Caloplaca cerina</i>	0	1	0
<i>Cetraria chlorophylla</i>	1	0	1	0
<i>Evernia prunastri</i>	3	1	2	1
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	282	13	27	1
<i>Hypogymnia physodes</i>	151	12	24	7
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	2	1	2	1
<i>Lecania cyrtella</i>	0	5	0	1
<i>Lecanora conizaeoides</i>	61	25	17	14
<i>Lecanora hagenii</i>	18	27	6	6
<i>Lecanora</i> sp.	0	3	0	2
<i>Lepraria incana</i>	3	2	2	2
<i>Melanelia exasperatula</i>	3	1	2	1
<i>Parmelia sulcata</i>	50	18	12	9
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	0	103	0	16
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	0	21	0	9
<i>Phlyctis argena</i>	0	1	0	1
<i>Physcia adscendens</i>	0	6	0	5
<i>Physcia aipolia</i>	0	1	0	1
<i>Physcia</i> sp.	1	112	1	21
<i>Physcia tenella</i>	1	46	1	15
<i>Physconia enteroxantha</i>	1	41	1	12
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	1	0	1	0
<i>Rinodina pyrina</i>	0	1	0	1
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	0	1	0	1
<i>Usnea hirta</i>	2	0	2	0
<i>Xanthoria parietina</i>	0	8	0	3

<i>Xanthoria polycarpa</i>	7	23	3	5
----------------------------	---	----	---	---

Abundans

Abundansen av lavarna visar ett liknande mönster som lavantalet. Västerängsudd har en mycket högre abundans än områdena i Stockholms innerstad (Figur 8). Områdena i innerstaden varierar även sinsemellan. Kungsholmen har signifikant högre abundans än Norrmalm och Södermalm, men mellan Norrmalm och Södermalm visade Tukeys test ingen signifikant skillnad. Mellan dessa två områden fanns dock bara ett litet intervall vilket indikerar trenden att Södermalm har den lägsta abundansen.



Figur 8. Medelabundansen i de olika områdena. Felstaplarna visar standardavvikelsen.

Tabell 5. Analys av variansen (ANOVA) av den logaritmiskt transformerade abundansen mot områdena och mot trädslag.

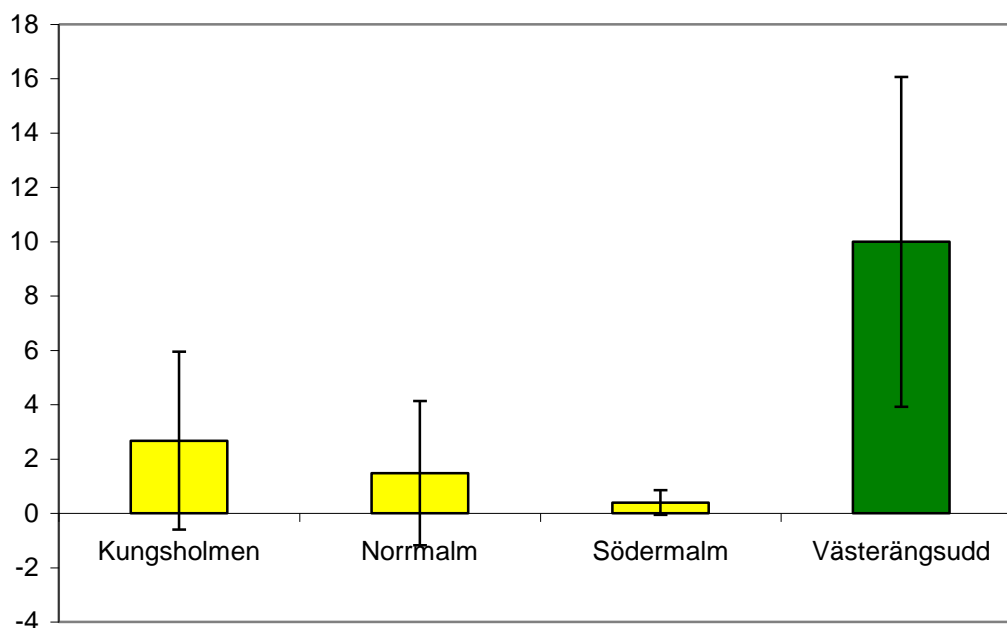
Source	DF	SS	MS	F	P
område	3	9,208	3,069	24,45	0,000
Error	100	12,555	0,126		
Total	103	21,763			
tädslag	1	0,692	0,692	3,35	0,070
Error	102	21,072	0,207		
Total	103	21,763			

Abundansen av lavar på ek och alm skiljer sig inte signifikant åt i ANOVAn. Det låga men inte signifikant P-värdet (0,07) (Tabell 5) visar att det är en trend att *Quercus* har högre abundans av lavar. Eftersom det växer olika lavararter på träden skiljer sig även abundansen åt för de olika lavararterna. På ek representerar flanslav *Hypocenomyce scalaris* 48 % och blåslav *Hypogymnia physodes* 24 % av den totala abundansen. För alm står rosettlavar *Physcia* spp.

för 35 % (*Physica* sp. 24 %, finlav *P. tenella* 10 % och hlälmrosettlav *P. adscendens* 1 %) och dvärgkranslav *Phaeophyscia nigricans* för 22 %.

Luftkvalitetsindex

Även luftkvalitetsindex visar lägre värden för områdena i innerstaden än för referensområdet Västerängsudd (Figur 9).



Figur 9. Medelvärden för luftkvalitetsindex i de olika områdena. Felstaplarna visar standardavvikelsen.

De högre värdena i Västerängsudd förklaras med att det här finns ett högre antal föroreningskänsliga arter. Stockholms innerstad har en fattigare flora med lägre antal arter, lägre abundans och mer toleranta arter. ANOVAn (Tabell 6) och Tukeys test visar signifikanta skillnader mellan alla områden utom mellan Södermalm och Norrmalm, de två områdena med de lägsta värdena.

Tabell 6. Analys av variansen (ANOVA) för luftkvalitetsindex mot områdena.

Source	DF	SS	MS	F	P
områden	3	10,3346	3,4449	50,11	0,000
Error	100	6,8739	0,0687		
Total	103	17,2085			

Lavkvalitetsindex

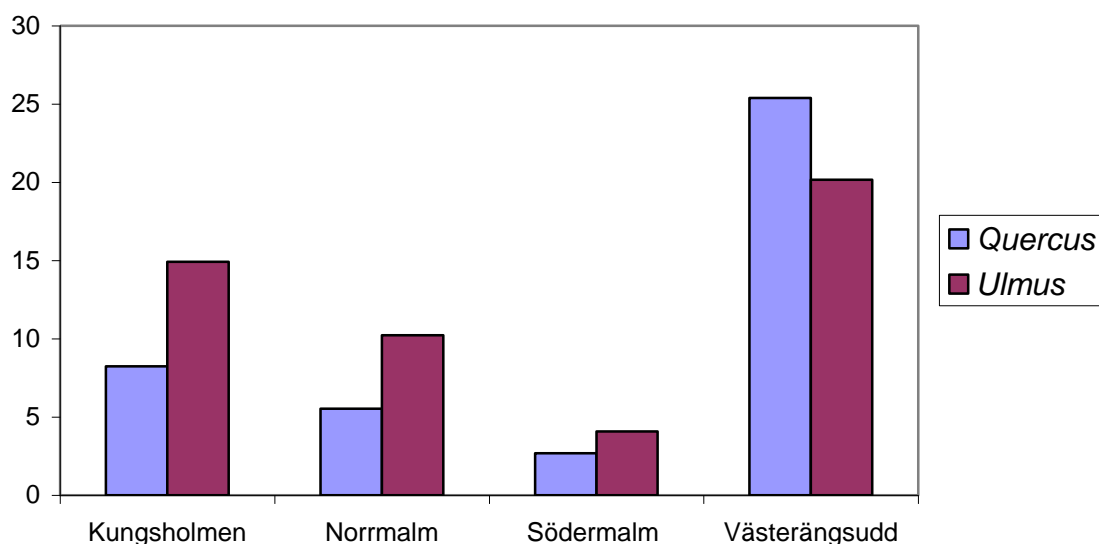
Lavkvalitetsindex visar signifikanta skillnader ($p = 0,02$) mellan områdena (Tabell 7).

Tabell 7. Analys av variansen (ANOVA) av lavkvalitetsindex mot områdena.

Source	DF	SS	MS	F	P
Områden	3	411,8	137,3	11,43	0,020
Error	4	48,0	12,0		
Total	7	459,8			
Trädart	1	7,1	7,1	0,09	0,769
Error	6	452,7	75,5		
Total	7	459,8			

Olika värden på indexet kan ses för ek och alm (Figur 10), men det är inte någon signifikant skillnad i ANOVA (Tabell 7). I de tre områdena i Stockholms innerstad har alm det högsta värdet, men i Västerängsudd har ek det högsta värdet. Detta kan leda till att ANOVA inte ger någon skillnad.

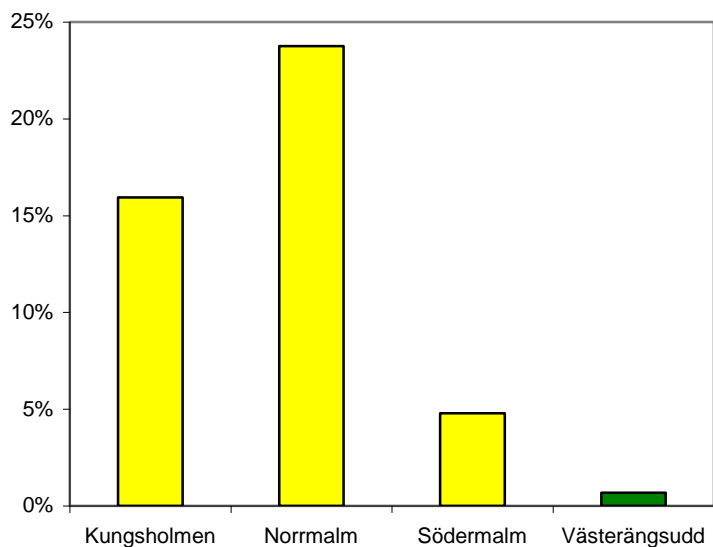
Liksom för luftkvalitetsindexet visar trenden, synbar i Figur 10, att Södermalm har det lägsta indexet följt av Norrmalm och sedan Kungsholmen. Referensområdet har det högsta värdet.



Figur 10. Lavkvalitetsindex för de olika områdena. Ett index är uträknad för varje trädslag.

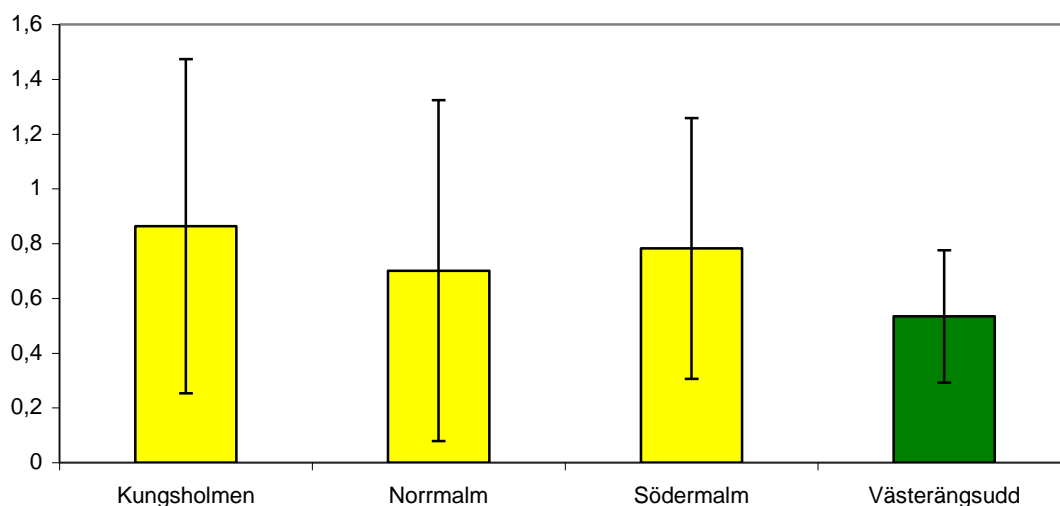
Kväveindex

För att se vilket område som har den största andelen nitrofila arter, har de mest nitrofila arterna, rosettlavarna *Physcia* sp., finlav *P. tenella*, hjälmrosettlav *P. adscendens* och trädgrönelav *Scoliciosporum chlorococcum*, adderats ihop. Hur stor andel av det totala antalet dessa arter utgör visar på hur kvävegynnad floran är (Figur 11). Dessa arter har den högsta representationen i Norrmalm, följt av Kungsholmen och sedan Södermalm och lägst andel har Västerängsudd.



Figur 11. Procenten av de mest kvävegynnade arterna i de olika områdena.

Ett annat sätt att jämföra kvävetillgången mellan områdena är med kväveindexet. ANOVAn visade signifikanta skillnader mellan områdena (Tabell 8). Västerängsudd har lägre andel nitrofila arter än vad Stockholms innerstad har. I indexjämförelsen (Figur 12) har Norrmalm den lägsta andelen nitrofila arter i innerstaden, följd av Södermalm. I Stockholms innerstad har Kungsholmen den högsta andelen kvävegynnade arter. Detta kan jämföras med testet av procentandelar *Physcia* sp. etc. (Figur 11), då Norrmalm hade det högsta procentandelen. alm har signifikant högre andel kvävegynnade arter än ek (Tabell 8).



Figur 12. Medelvärden av kväveindex för de olika områdena. Felstaplarna visar standardavvikelsen

Tabell 8. Tvåvägs-ANOVA mellan kväveindex och områden och trädslag.

Source	DF	SS	MS	F	P
Område	3	0,07255	0,02418	2,76	0,046
Trädslag	1	0,68074	0,68074	77,70	0,000
Interaction	3	0,15183	0,05061	5,78	0,001
Error	96	0,84106	0,00876		
Total	103	1,74619			

Diskussion

I jämförelse med 1960-talet har lavfloran förbättrats dramatiskt, både antalet lavar och abundansen av dessa har ökat. Skye (1968) fann i Stockholms innerstad en lavöken, med bara några få exemplar av stadskantlav *Lecanora conizaeoides* och blåslav *Hypogymnia physodes*, och nu fann jag 27 lavararter. Till och med luddig skägglav *Usnea hirta*, som är en luftföroreningskänslig art, finns numera i Stockholms innerstad, t. ex. i Vasaparken. Detta korrelerar bra med SO₂-halterna som har minskat drastiskt sedan 1960-talet. Den förbättrade luftkvaliteten i Stockholms innerstad har gjort det möjligt för lavarna att återkomma till Stockholm. De flesta lavexemplar som hittats har varit små, troligtvis på grund av att de nyligen koloniserat området. Förr var SO₂ ett stort föroreningsproblem, men nu är föroreningsproblematiken mer sammanbundet med trafiksituationen.

SO₂-halterna tillsammans med NO_x-halterna förefaller dock fortfarande påverka floran i Stockholms innerstad, eftersom floran här är mindre divers än floran i referensområdet. De årliga medelvärdena för svaveldioxiden är låga men extremvärden så mycket som 50 gånger högre kan förekomma. Andra studier har visat att även om föroreningshalterna har minskat så avgör SO₂-halterna fortfarande förekomsten av lavar (Geebelen & Hoffmann, 2001). Detta kan även vara fallet för Stockholm, då det i synnerhet är extremvärdena som sätter de yttre gränserna för lavarna. Det har också visat sig att blandningen av NO₃ och SO₂ kan vara mera skadligt än SO₂ ensamt (Balaguer & Manrique, 1991). Så även om SO₂ har minskat är den tillsammans med trafikutsläppen farligt för lavarna.

Undersökningen visade att Stockholms innerstad hade en högre andel nitrofila arter än referensområdet. Detta kan förklaras av att de högre utsläppen av kväveföreningar gynnar dessa arter. Det skulle också kunna förklaras av NH₃-föroreningar, som ökar barkens pH och därmed gynnar nitrofila arter. Det kan också vara så att lavarnas situation idag är rätt bra, men att då nitrofila arter koloniserar snabbare så har de andra arterna inte hunnit komma upp i samma antal än. Floran i Stockholm kanske blir mer artrik om några år då fler arter hunnit kolonisera. I Stockholms innerstad finns fortfarande problemet med överskridandet av miljökvalitetsnormen för NO₂. Det är inte tillåtet för medelvärdet för en timme att överstiga 90 µg/m³ mer än 175 gånger /år, enligt miljökvalitetsnormen. I verkligheten överstigs denna gräns alldeles för många gånger, och detta kan påverka lavarna negativt, eftersom NO₂ är mer eller mindre toxiskt för flera lavararter.

Även om det inte är statistiskt säkerställt i alla test, finns det en trend i mina data. Trenden visar att Södermalm har den lägsta diversiteten, följt av Norrmalm och den rikaste floran kan hittas på Kungsholmen. Från detta drar jag slutsatsen att luftkvaliteten (i alla fall kvalitét från lavarnas perspektiv, låga halter av SO₂ och NO₂) är bäst på Kungsholmen, följt av Norrmalm och att Södermalm har den högsta halten luftföroreningar. Det höga antalet stadskantlav

Lecanora conizaeoides på Södermalm visar på höga halter av SO₂, vilket också matchar luftföroreningsdata (Susann Östergård pers. komm.). (Skye fann däremot fler arter på Södermalm än på Norrmalm.) Den låga halten av de mest kvävegynnade arterna (*Physcia* sp., *P. tenella*, *P. adscendens* och *Scoliciosporum chlorococcum*) på Södermalm kan förklaras av den höga andelen *Lecanora conizaeoides* och inte med att området har få nitrofila arter, eftersom att Södermalm, när jag jämförde de olika områdenas kväveindex, hade ett högre värde än Norrmalm. stadskantlav *Lecanora conizaeoides* är väldigt tålig mot SO₂, men inte så gynnad av kväve att den räknas till de ”mest kvävegynnade arterna”. Ett kväveindex på 1 (Tabell 2) och den höga abundansen av stadskantlav *Lecanora conizaeoides* ger området ett högt kväveindex. Luftföroreningsdata stöder teorin att floran på Södermalm skulle vara mer kvävegynnad än floran på Norrmalm, då halterna av NO_x är högre på Södermalm. Kungsholmen som hade den högsta diversiteten hade också den högsta andelen kvävegynnade arter.

Diversitetsmått och luftkvalitetsindexet skiljer inte på kvävegynnade arter och icke-kvävegynnade arter. Detta kan leda till att man tror att luftkvaliteten är bra, även om det höga artantalet bara beror på en hög andel kvävegynnade arter. I synnerhet på träd med sur bark, är de nitrofila arterna inte så känsliga för SO₂. Istället kan deras existens visa på höga NH₃-föroreningar. Det kan vara så att det höga artantalet på Kungsholmen bara är orsakad av den höga andelen kvävegynnade arter och därmed inte tyder på att luften är renare här.

Skillnaden mellan de olika områdena i Stockholms innerstad är ganska små och i vissa fall inte statistiskt säkerställda. Vad man däremot kan se är att förändringen av lavfloran sedan 1960-talet och även skillnaden mellan referensområdet och innerstaden. Det är tydligt att lavfloran i Stockholms innerstad idag har en mycket högre diversitet både när det gäller artantal och abundansen av lavarna än vad den hade på sextioalet. Lavfloran i innerstaden är dock fortfarande inte lika rik som floran i referensområdet så det behövs ytterliggare förbättringar av luftkvaliteten. Detta kan inte bara göras med minskade SO₂-halter utan, en minskning av NO_x-utsläppen måste också ske. Detta är kanske viktigare idag då SO₂-halterna redan ligger på en låg nivå. Minskningen av NO₂ är en svår uppgift, eftersom stora delar av utsläppen beror på trafiksituationen vilken inte är lika lätt att ändra på. I synnerhet då det inte finns lika stor politisk vilja att minska trafiken i innerstaden.

Tack

Jag vill tacka Susann Östergård från Stockholms miljöförvaltning för all hjälp med t. ex. val av parker, utskrivning av flygfoton och fotografering. Jag vill också tacka min handledare Göran Thor på institutionen för naturvårdsbiologi, SLU; för allt han har hjälpt mig med. Även ett stort tack till Lena Gustafsson, institutionen för naturvårdsbiologi, SLU, för hennes synpunkter på manuskriptet.

Referenser

Presentation of Stockholms environmental program Miljö 2000. 1996. Miljöförvaltningen. Stockholm.
Arup, U., Ekman, S., Lindblom, L. & Mattson, J.-E. 1993. High performance thin layer chromatography (HPTCL), an improved technique for screening lichens substances. *Lichenologist* 25:61-71.

- Arvidsson, L. & Lindström, M. 1980. Lavfloran i Botaniska trädgården i Göteborg. *Svensk Bot. Tidskr.* 74: 133-143.
- Arvidsson, L. & Skoog, L. 1984. Svaveldioxidens inverkan på lavfloran i Göteborgsområdet. *Svensk Bot. Tidskr.* 78: 137-144
- Balaguer, L. & Manrique, E. 1991. Interaction between sulphur dioxide and nitrate in some lichens. *Environ. Exp. Bot.* 31: 223-227.
- Burman, L. & Höglund, P. 1999. *Luften i Stockholm vinterhalvåret 1998-1999*. Stockholms luft och bulleranalys. Miljöförvaltningen. Stockholm. http://www.slb.mf.stockholm.se/slb/r2_luften.htm (18 augusti 2001)
- Burman, L. & Höglund, P. 2000. *Luften i Stockholm årsrapport 1999*. Stockholms luft och bulleranalys. miljöförvaltningen. Stockholm. <http://www.slb.mf.stockholm.se/slb/>. (21 mars 2001)
- Burman, L., Westerlund, K-G., Jonson, T. & Johansson, C. 2001. *Luften i Stockholm årsrapport 2000*. Stockholms luft och buller analys. Miljöförvaltningen. Stockholm. <http://www.slb.mf.stockholm.se/miljo/>. (17 July 2001)
- Cislaghi, C. & Nimis, P. L. 1997. Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature* 387: 236-437.
- Dobben van, H. F. & Braak ter, C. J. F. 1998. Effects of atmospheric NH₃ on epiphytic lichens in the Netherlands: the pitfalls of biological monitoring. *Atmos. Environment.* 32: 551-557.
- Dobben van, H. F. & Braak ter, C. J. F. 1999. Ranking of epiphytic lichen sensitivity to air pollution using survey data: a comparison of indicator scales. *Lichenologist* 31: 27-39.
- Dobben van, H. F., Wolterbeek, H. Th., Wamelink, G. W. W. & Braak ter, C. J. F. 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environ. Pollut.* 112: 163-169.
- Foucard, T. 2001. *Svenska skorplavar och svampar som växer på dem*. Stockholm, Interpublishing.
- Geebelen, W. & Hoffmann, M. 2001. Evaluation of bio-indication methods using epiphytes by correlating with SO₂-pollution parameters. *Lichenologist* 33: 249-260.
- Gries, C. 1996. Lichens as indicators of air pollution. In: Nash III, T. (ed.) *Lichen Biology*, sid. 240-254. Cambridge, University press.
- Hauck, M., Hesse, V., Jung, R., Zöller, T. & Runge, M. 2001. Long distance transported sulphur as a limiting factor for the abundance of *Lecanora conizaeoides* in montane spruce forests. *Lichenologist* 33: 267-269.
- Hawksworth, D. L. & McManus, P. 1989. Lichen recolonization in London under conditions of rapid falling sulphur dioxide levels, and the concept of zone skipping. *Bot. J. Linn. Soc.* 100: 99-109.
- Herk van, C. M. 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist* 31: 9-20.
- Herk van, C. M. 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of change in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist* 33: 419-441.
- Hultengren, S., Martinsson, P. O. & Stenström, J. 1991. *Lavar och luftföroreningar känslighetsklassning och indexberäkning av epifytiska lavar*. Naturvårdsverket. Rapport 3967. Uppsala.
- Jonson, T. Pettersson, M., Westerlund, K.G., Johansson, C., Burman, L., Johansson, P-Å., Brydolf, M., Höglund, P. & Törnquist, L. 1999. *Kartläggning av kvävedioxidhalter i Stockholms och Uppsala län – jämförelser med miljö kvalitetsnormer*. Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund, Stockholm
- Kapanen, L. 1994. *Epifytiska lavar som indikatorer på bakgrundshalt av luftföroreningar i Värmland*. Länsstyrelsen i Värmlands län, Karlstad.
- Krog, H., Østhagen, H., & Tønsberg, T. 1994. *Lavflora. Norske busk- och bladlav*. Universitetsforlaget, Oslo.
- Loppi, S., Giovannelli, L., Franchi, F. C., Limberti, A. & Tacconi, C. 1996. Lichens as bio indicators of air quality in Prato (Central-Northern Italy). *Allonia* 34: 29-34.
- Marti, J. 1983. Sensitivity of lichen phytobionts to dissolved air pollutants. *Can. J. Bot.* 61: 1647-1653.
- Pettersson, M. & Jonson, T. 2001. Luftföroreningar i Stockholms och Uppsala län Utsläppsdata 1999. Stockholms luft och bulleranalys. Miljöförvaltningen. Stockholm. <http://www.slb.mf.stockholm.se/lvf/>. (21 Mars 2001)
- Rose, C. I. & Hawksworth, D. L. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145-148.
- Rose, C. I. & Hawksworth, D. L. 1981. Lichen recolonisation in London's cleaner air. *Nature* 289: 289-292.
- Sernander, R. 1926. *Stockholms natur*. Uppsala, Almqvist och Wiksells förlag.
- Skye, E. 1968. Lichens and air pollution, a study of cryptogamic epiphytes and environment in the Stockholm region. *Acta Phytogeogr. Suec.* 52:1-123
- Stockholmskartan*. Stockholms stad. http://www.map.stockholm.se/kartago/hlp/frames_kartago_sth.htm. (29 september 2001)
- Trafikmiljöprogram för Stockholm bakgrundsbeskrivning*. Miljöförvaltningen. Stockholm.
- Wirth, V. 1980. *Flechtenflora*. Stuttgart, Ulmer verlag.

Homepage: Länsstyrelsen Stockholms län. Skyddad natur i Stockholms län Naturresevat och nationalparker. 1
June 2000 http://www.ab.lst.se/natur/miljo/skyddad/kommuner/reservat/Skyddad_natur_1Sida16.html
(17 July 2001)