

Del av ett kursmaterial om luftföroreningarna bakom skogsdöden

**Underlag för kapitel i boken *Död eller levande från 1985 om skogsdöden***

Kunskapsbas använd vid forskarförhöret *Bilavgaser och Skogsdöd* vid Chalmers 1985 (se sist inlagd pressinfo)

Bas för rapporten *Från kolväteutsläpp till skogsskador 1985* inför Volvos etablering i Uddevalla

Bas för rapporten *Petrokemi + Motorväg skadar västsvenska skogar 1987* inför det via trädkramarna ökända vägbygget i Bohuslän

## Kolväten och Fotokemiska oxidanter

Vintern 83/84 fick förekomsten av skogsskador i Sverige ett dramatiskt medialt genombrott under beteckningen skogsdöden. Skogens tillstånd skylldes nästan helt på försumningen som länge dominerat som miljöfråga i Sverige med kulmen efter FN-konferensen i Stockholm 1982.

Detta dokument är resultatet av ett intensivt arbete med att snabbt lyfta fram den internationellt bättre kända betydelsen av kolväteutsläpp och fotooxidanter för vegetationsskador. Materialet har både miljöhistorisk och saklig relevans även om utsläppen har förändrats och en del nya faktakunskaper tillkommit.

### Kolväten

I USA har kolvätenas roll för uppkomsten av olika växtskador länge varit erkänd och studerad. I Europa och särskilt i Sverige har kolvätena kommit i skymundan för andra luftföroreningar. Därför gäller det nu att desto intensivare angripa det stora och komplicerade kolväteproblemet. Nuvarande okontrollerade kolväteutsläpp innebär utan tvekan ett oacceptabelt ekologiskt hasardspel.

Tusentals olika ämnen. I rent kemisk bemärkelse menas med kolväten ämnen som innehåller enbart kol och väte. I miljösammanhang låter man oftast kolväten innefatta även föreningar som utöver kol och väte innehåller andra element som t ex syre och kväve. I denna, här använda, bredare mening är långt mer än 90% av antalet kända luftföroreningar kolväten.

Tiotusentals kända och långt fler okända kolväten förekommer i luft i starkt varierande halter. Skillnaderna i egenskaper och miljöeffekter är enormt stora. I många fall kan kolväten som förekommer i extremt låga halter vara farligare än de ämnen som finns i högst halter.

Det innebär alltså en ur miljösynpunkt orimligt grov förenkling att bara tala om totala kolväteutsläpp och kolvätehalter i luft. En precisering till enskilda ämnen eller åtminstone grupper av likartade ämnen måste till. Inte minst för en bättre förståelse av olika kolväteutsläpps betydelse för skogsöden är detta nödvändigt.

Naturliga kolväten i luft. Även jämförelser med naturligt förekommande kolväten blir riktigt meningsfulla först om de görs för enskilda ämnen. Ju större den naturliga förekomsten är i luften ju bättre är normalt ekosystemets anpassning till ämnet ifråga. Ju mindre är då också oftast riskerna med utsläpp som orsakar relativt sett begränsade avvikelser från naturliga halter.

En särställning bland kolvätena i luft intar metan som finns i en medelhalt så hög som ca 1.4 ppm. Metan frigörs i stora mängder vid anaerob nedbrytning i bl a sumpmarker. På många håll i världen läcker det ut betydande mängder naturgas, som främst innehåller etan, propan och butan. De flesta något så när flyktiga petroleumkomponenter läcker ut i mindre mängder i områden med oljeförekomster. Vid naturliga skogsbränder bildas många kolväten med mycket varierande struktur i låga halter.

Många kolväten avges också till luft av levande organismer. De är då ofta ett viktigt led i det kemiska samspelet mellan olika organismer i ekosystemet. Försvärsubstanser och signalämnen inom och mellan arter finns i stort antal. Ofta varierar halter och ämnessammansättning starkt i tid och rum på ett för ekosystemets funktion specifikt sätt. Utsläpp av denna typ av kolväten medför därför ekologiska risker av en speciell karaktär.

Växter har en speciell förmåga att framställa många olika kemiska ämnen varav en del kan avges till luft. Många växter avger  $C_5$ -kolväta isopren (2-metyl-1,3-butadien) i mängder som svarar mot storleksordningen 1% av nettoproduktionen. Särskilt barrträd avger också stora mängder av vissa omättade  $C_{10}$ -kolväten, s k monoterpener. Den totalt avgivna mängden av terpener, inklusive isopren, bedöms globalt vara avsevärt större än de totala antropogena kolväteutsläppen. Som framhållits ovan säger detta dock inget om de senares miljöfarlighet.

Bilismens kolväteutsläpp. Av kolväteutsläppen till luft i Sverige kan ungefär hälften eller ca 150.000 ton per år direkt hänföras till motorfordon. Av denna mängd faller inte mindre än ca 80% på bensinmotorernas avgaser, ca 10% på bensinavdunstning från bl a tappstationer och ca 10% på dieselfordon. Egentligen bör dessutom en stor del av kolväteemissionerna från oljeutsläpp och raffinaderier hänföras till bilismen som alltså dominerar kolväteutsläppen ungefär lika starkt som kväveoxidutsläppen.

Bensin utgörs till närmare hälften av bensen och alkylbensener som är s k aromatiska kolväten med den speciella bensensexringen i strukturen. Toluen med sju och xylen med åtta kolatomer dominerar och utgör vardera ca 15% av bensin. Resten av bensinen utgörs nästan helt av ogrenade, grenade och cykliska alkaner med 4-7 kolatomer. Dessa är mer flyktiga än de aromatiska komponenterna och avdunstar därför i större utsträckning.

Avgaserna innehåller dels oförbrända bensinkolväten i ungefär samma proportioner som i drivmedlet och dels kolväten som bildas vid förbränningen. Bland de senare utgör eten ca 10%, propen och butener ca 5% och metan och acetylen vardera 5-10% av avgasernas kolväteinnehåll. Bensen bildas också och dess andel ökar något jämfört med bensin som innehåller upp till 5%. Andelen nybildade kolväten är störst för varmkörda och väljusterade motorer. Vid kallstarter dominerar bensinkolväten helt i avgaserna vilkas kolväteinnehåll då är flera gånger större än vid normal körning.

I dieselmotorn bildas i mindre mängder ungefär samma kolväten som i bensinmotorn. Därtill innehåller dieselavgaser alkaner med 11-15 kolatomer och andra svårflyktiga kolväten som finns i dieselolja.

Industrianknutna kolväteutsläpp. Utsläppen från industri och företagsamhet i Sverige bedöms uppgå till ca 100.000 ton per år. Egentliga kolväten som helt dominerar bilismens utsläpp utgör bara ungefär hälften av denna mängd. Klorkolväten, alkoholer och estrar dominerar i övrigt.

Raffinaderiernas utsläpp innehåller alla de kolväten som finns i olika petroleumprodukter. Lättflyktiga alkaner som etan, propan och butan utgör en stor andel av utsläppen. De petrokemiska anläggningarna i Stenungsund släpper ut ett par tusen ton eten per år och även stora mängder propen och bensen. Klorkolvätena vinylklorid och dikloretan dominerar utsläppen från PVC-tillverkning.

Verkstadsindustrin använder för avfettning olika lösningsmedel som till stor del släpps ut till luft. Trikloretan, triklor-  
etan eller diklormetan används ofta liksom olika petroleumlös-  
ningsmedel, vilka som regel har ett högt innehåll av olika  
aromatiska kolväten. Lösningsmedel och förtunningsmedel för  
färger och lacker innehåller utöver petroleumkolväten ofta  
också estrar och kanske även någon alkohol. I de stora utsläp-  
pen från Volvos och Saabs lackeringsanläggningar är xylen och  
butylacetat huvudkomponenter.

Bland mindre men talrika företag kan nämnas lackeringsverkstä-  
der och biltvättar som använder avfettningsmedel. Kemtvättar  
står för en huvuddel av utsläppen av tetrakloreten. Tryckerier  
svarar för avsevärda utsläpp av aromatiska kolväten som toluen  
och xylen. Plastbåtstillverkning ger ofta betydande utsläpp av  
styren (vinylbensen).

Till de direkta utsläppen från olika företag kommer betydande  
kolvätemängder från hushållens användning av färger, lösnings-  
medel och andra av företagens kemisk-tekniska produkter. I  
princip kommer alla något så när flyktiga ämnen i sådana  
produkter förr eller senare att avgå till luft. Försäljnings-  
siffror möjliggör därför mängduppskattningar.

Förbränning i fasta anläggningar beräknas svara för mindre än  
1% av de totala kolväteutsläppen. Störst är sannolikt kolväte-  
utsläppen från oljeeldade villapannor som till sin sammansätt-  
ning liknar utsläppen från dieselavgaser. Värmeverk och andra  
större förbränningsanläggningar inklusive sop- och avfallsför-  
bränning ger små utsläpp. Detta hindrar dock inte att utsläp-  
pen kan vara mycket miljöfarliga genom sitt innehåll av  
speciella högttoxiska kolväten.

Kolväten från oljeutsläpp. Oljeutsläpp av olika slag till lands och till sjöss ger ett stort men svårbestämt bidrag till övriga kolväteutsläpp till luft. Man räknar med att ca 50% av ett råoljeutsläpp till vatten avgår till luft. Huvuddelen av alla kolväten med färre än 20 kolatomer avdunstar. Oljespill till lands beräknas via dagvatten och kommunalt och industriellt avloppsvatten bidra med större kolvätemängder än de mer omtalade utsläppen till sjöss. Huvuddelen av kolvätena som avgår till luft från oljeutsläpp kan antas vara flyktiga alkaner och aromatiska kolväten.

Läckage från oljeutvinningen i Nordsjön har på senare år medfört ett nytt kolvätetillskott av okänd storlek till luften över Nordeuropa.

Livslängd i luft. Kolväten försvinner från luft främst genom kemisk omvandling. Omvandling som startar med en reaktion med OH-radikaler anses betyda mest för de flesta kolväten. Alkener reagerar också med ozon som angriper dubbelbindningen i strukturen. Halterna av OH-radikaler och i viss mån ozon är högre i ljus än i mörker men påverkas också av många andra faktorer som framgår av följande avsnitt. Kolvätenas nedbrytningshastighet styrs i hög grad av dessa haltvariationer.

Halveringstiden i luft varierar från flera år för vissa freoner ned till kanske mindre än en minut för vissa terpenier i dagsljus under gynnsamma reaktionsbetingelser. I tabell ges en mycket grov gruppering efter halveringstider. För ämnen med samma grundstruktur (alkaner, alkener, alkylbensener, ketoner, estrar etc) minskar som regel halveringstiden betydligt med ökande molekylvikt. Antalet ämnen med en halveringstid längre än ett par dagar är därför relativt fåtaliga och utgörs av de mest lågmolekylära inom vissa ämnesgrupper.

Ungefärliga halveringstider i luft för olika kolväten

>100 dagar Ej reaktiva	ca 10 dagar Lågreaktiva	ca 2 dagar Medelreaktiva	<10 timmar Högreaktiva
metan	etan	alkaner >C <sub>3</sub>	xylene
freoner	propan	toluen	eten
koltetraklorid	acetylen	dietyleter	propen
trikloreten	bensen	vinylklorid	alkener >C <sub>3</sub>
kloroform	trikloreten	etanol	alkylbensener >C <sub>8</sub>
tetrakloreten	diklormetan	alif alkoholer	styren
	dikloreten	alif ketoner >C <sub>3</sub>	etrar >C <sub>4</sub>
	metylacetat	alif estrar >C <sub>3</sub>	etoxietanol
	aceton	arom ketoner	isopren
	metanol	arom estrar >C <sub>7</sub>	terpener

Halter och spridning. För kolväten lika väl som för andra ämnen som släpps ut till luft avtar förstas halterna snabbt med avståndet från källan på grund av spädning horisontellt och vertikalt. En kort livslängd i luft förstärker naturligtvis denna effekt. I tätorter är t ex halten av xylene högre än av bensen precis som i utsläppen. I sydsvenska landsbygdsområden på avstånd från trafik har förhållandet visat sig vara det omvända på grund av den mycket kortare livslängden för xylene i luft. I tabell jämförs typiska tätorts- och landsbygdshalter för några kolväten och andra välkända luftföroreningar.

Skillnaden i livslängd för olika kolväten och grupper av kolväten ger motsvarande stora skillnader i spridning. Freonerna sprids globalt och tränger t o m upp i och hotar stratosfärens ozonskikt. Bensen långdistanssprids sannolikt i ungefär samma utsträckning som svaveldioxid och kväveoxider. Xylene bryts ned så snabbt att vi nästan inte får någonting från andra länder. Alkener som propen och styren får en ännu mycket mer lokalt begränsad spridning.

Sammanfattningsvis kommer kolvätena i lufthavet över Sverige till helt övervägande del från våra egna utsläpp. Samtidigt är skillnaderna i lokal och regional spridning mycket stora för olika enskilda kolväten.

Halter av luftföroreningar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i svenska tätorters trafikmiljöer jämfört med sydsvenska landsbygdsområden

	trafikmiljö	landsbygd	haltförhållande
xylén	150	0.1	1500
toluén	150	0.25	600
bensen <sup>a</sup>	60	0.3	200
diklorethan <sup>a</sup>	1	0.02	50
bly (oorganiskt)	2	0.02	100
kolmonoxid	10000	200	50
kväveoxid	800	2	400
kvävedioxid	200	4	50
svaveldioxid <sup>b</sup>	100	5	20

<sup>a</sup> Cancerogena. <sup>b</sup> Främst från andra källor än motorfordon.

Skogspåverkan av kolväten. I den okontrollerade floden av olika kolväten är sannolikheten stor att det finns ämnen med växtskadande effekter. Skador måste dock antas vara starkt koncentrerade till utsläppens närhet på grund av de mycket lägre halterna i fjärrområdena.

En viktig frågeställning är om det finns misstänkta kolväten med en spridningsbild som närmar sig skogsskadornas. Jordbrukets bekämpningsmedel hamnar då i blickpunkten som en tänkbar bidragande orsak till de markerade skogsskadorna i jordbruksbygderna. Där utsätts träden år efter år under en känslig vegetationsperiod för ämnen med dokumenterat växtpåverkande effekt. Träd i åkerkanter tycks också tillhöra de mest påverkade.



Skadebilden i stort för skogen tyder ändå på att ämnen som bildas genom kemiska reaktioner i luft har störst betydelse. De flesta av dessa bildas från eller under medverkan av kolväten. Det är främst mot den bakgrunden som kolväteutsläppen nu måste bedömas som ett mycket allvarligt hot mot vår skog.

#### Atmosfärkemiskt bildade ämnen

Den till antalet ämnen utan jämförelse största kategorin av luftföroreningar är sådana som bildas genom kemiska reaktioner i luft. Dit hör några av de tidigare diskuterade svavel- och kväveföreningarna liksom ozon och ett fåtal andra ämnen som inte innehåller kol. I övrigt är alla dessa ämnen kolväten i betydelsen kolinnehållande ämnen.

Till skillnad från direktemitterade ämnen uppvisar många av de atmosfärkemiskt bildade föroreningarna haltvariationer och depositionsmonster som förefaller väl förenliga med de nya skogskadornas utbredning. Det är därför sannolikt att de ämnen som betyder mest för skogsskadorna i Sverige finns inom denna ämneskategori.

Kemiska reaktioner i luft. De kemiska reaktionerna i luft är mycket talrika speciellt när många kolväten är inblandade. Reaktionerna är dessutom kopplade till varandra på ett mycket komplicerat och svåröverskådligt sätt. Den atmosfärkemiska aktiviteten blir särskilt hög i luft som är förorenad av både kolväten och kväveoxider. En översikt av viktiga reaktionsförlopp ges i faktarutor.

För några nyckelreaktioner krävs medverkan av ljusenergi som då upptas av den molekyl som reagerar. Kvävedioxid, aldehyder och ketoner kan reagera på detta sätt. Även bildningen av de hydroxidradikaler som startar nedbrytningen av kolväten är beroende av ljus. Man talar om fotokemiska reaktioner. Ofta innefattar man i dessa även de övriga reaktionerna som sker i

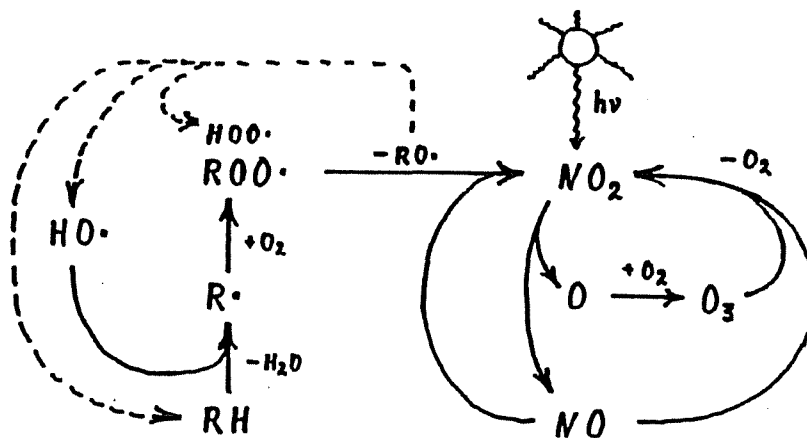
anslutning till de renodlat fotokemiska. Beroendet av ljus medför att reaktionerna avstannar i nattens mörker. Det medför också att de är mycket snabbare i sommarens solljus än på vintern.

De beskrivna reaktionerna började studeras i samband med problem med s k fotokemisk smog i storstadsregioner. Ett vanligt sätt att studera reaktionsförlopp är försök med artificiellt förorenad luft i s k smogkammare. Mycket av de kunskaper som finns härstammar från sådana försök. I dag vet man att reaktioner liknande dem i storstadssmog förekommer kring olika utsläpp och i regionalt förorenad luft.

Fotokemiska oxidanter. Många av de atmosfäriskemiskt bildade ämnena har starkt oxiderande egenskaper. De brukar lite slarvigt kallas oxidanter eller fotokemiska oxidanter utan att man särskilt noga tänker på att dra en gräns mot andra ämnen. Orsaken till att oxidanter blivit ett så ofta använt begrepp är bl a att man tror att de oxiderande egenskaperna har särskilt stor betydelse för ämnens skadeeffekter på organismer.

Oxidanterna är alla mycket reaktiva men med stora inbördes skillnader. I luft kan livslängden bli minuter, timmar eller dagar, men med organiskt material reagerar de mycket snabbt. De fria radikalerna är extremt reaktiva. Bland de mest välkända oxidanterna är ozon och peroxider avsevärt mer reaktiva än aldehyder. Bland kväveföreningar med oxiderande egenskaper som bildas i fotokemiskt reaktiv luft märks salpetersyra, peroxyacetylitrater och nitrosubstituerade kolväten.

Ozon utgör ofta mer än 90% av den totala mängden oxidanter i luft. Kunskaperna om ozon är därför mycket större än för andra oxidanter. De senare är mycket svåra att studera och mäta i luft. Diskussioner om oxidantskador på t ex skog har därför oftast fokuserats på ozon. Redan nu är det dock känt att vissa andra ämnen kan ge växtskador i mycket lägre halter.



Principskiss över hur oxidanter bildas från kolväten och kväveoxider i luft

Förklaring av reaktionsschemat: Kvävedioxid (NO<sub>2</sub>) spjälkas fotokemiskt till kvävemoxid (NO) och en syreatom (O). Fria syreatomer reagerar med luftens molekyllära syre (O<sub>2</sub>) till ozon (O<sub>3</sub>). Ozon reagerar i sin tur med kvävemoxid varvid kvävedioxid återbildas och syre frigörs. Om inga kolväten finns inställer sig en jämvikt mellan NO<sub>2</sub>, NO och O<sub>3</sub> enligt schemats högra del.

De flesta kolväten (RH) reagerar främst med fria hydroxidradikaler (HO·) till kolväteradikaler (R·). Dessa bildar med syre peroxidradikaler (ROO·). Kvävemoxid reagerar lätt med dessa peroxidradikaler under bildning av kvävedioxid. Detta bryter jämvikten mellan kväveoxider (NO<sub>x</sub>) och ozon.

Schemats streckade del antyder ytterligare några viktiga reaktionsförlopp. Bildade alkoxyradikaler (RO·) kan avspalta en väteatom (H·) till syre. Därvid bildas en väteperoxidradikal (HOO·). Även denna reagerar med NO till NO<sub>2</sub>, varvid också hydroxidradikaler återbildas. De reaktiva peroxidradikalerna (HOO·, ROO·) kan också ta upp en väteatom från olika kolväten. På detta sätt bildas väteperoxid (HOOH) och organiska peroxider (ROOH). Spaltning av dessa peroxider kan bidra till en ökad halt av hydroxidradikaler. Detta ökar de viktigaste reaktionsförloppens hastighet.

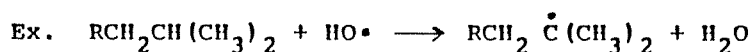
När alkoxyradikalen tappar en väteatom bildas oftast ketoner eller aldehyder som på nytt kan börja reagera som RH-molekyler. För varje reaktionsvarv ökar produkternas polaritet vilket medför att de efterhand övergår till aerosoler.

## Kolvätestruktur - reaktionsväg - reaktionshastighet

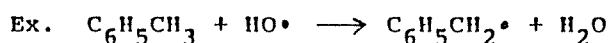
(jämför tabell över halveringstider för kolväten)

Ökande molekylvikt ökar ofta sannolikheten för att någon av de olika radikaler (R·) som kan bildas från ett och samma kolväte har en jämförelsevis stabil struktur. En sådan leder till ökad reaktionshastighet mellan kolvätet och hydroxidradikalen.

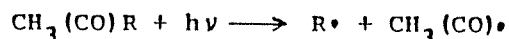
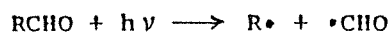
För alkaner blir radikalens stabilitet om vätet tas från en CH<sub>2</sub>-grupp högre än om det tas från CH<sub>3</sub> men lägre än om det tas från CH.



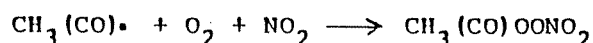
För aromatiska kolväten reagerar bensenringens väteatomer trögt men sidokedjorna snabbt. Bensen reagerar därför långsamt och alkylbensener allt snabbare med ökande molekylvikt.



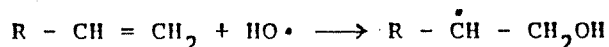
Aldehyder och ketoner tillhör det fåtal ämnesgrupper som kan spjälkas fotokemiskt till radikaler. Dessa bidrar sedan liksom andra radikaler till att öka den förorenade luftens reaktivitet.



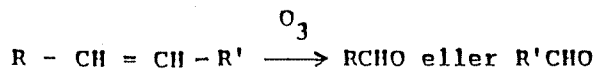
Metylketoner har valts som exempel därför att acetylradikalen CH<sub>3</sub>(CO)· spelar en viktig roll genom att reagera med syre och kvävedioxid till peroxiacetylnitrat (PAN).



Alkener reagerar snabbt med hydroxidradikalen genom att denna adderas till dubbelbindningen. Den bildade radikalen reagerar sedan vidare på vanligt sätt.



Alkener reagerar också snabbt med ozon varvid dubbelbindningen spjälkas och bl a aldehyder bildas.



Kolmonoxid reagerar långsamt med hydroxidradikalen under bildning av peroxidradikaler. Eftersom kolmonoxidmängderna från bilavgaser är stora kan bidraget till bl a ozonbildningen ändå bli betydande.



Ozon. I stratosfären på ett par mils höjd över jordytan finns det livsviktiga ozonskikt som skyddar jordens levande organismer mot för stark UV-strålning. Genom tropopausens spärrskikt förs en del ozon ned till troposfären och jordens yta. Där kan ozon också bildas under medverkan av naturligt förekommande kväveoxider och kolväten. Dessutom bildas ozon vid blixurladdningar. De naturliga halterna av ozon bedöms vara 20-50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  på våra breddgrader med de högsta halterna sommartid.

I dagens situation uppmäts sommartid månadsmedelvärden omkring 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vid svenska stationer på avstånd från utsläpp av kolväten och kväveoxider. Entimmesmedelvärden överskrider ibland 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Höga halter uppträder oftast under högtrycks-situationer dvs vid hög solinstrålning, hög temperatur, svag vind och begränsad luftomblandning. Allt detta är faktorer som gynnar de atmosfärkemiska reaktioner som orsakar oxidantbildning.

Ozonmätningar i Västsverige och Sydnorge visar att episoder med höga halter vid kusterna ibland till stor del kan förklaras med långdistanstransport av förorenade luftmassor. Tillskott orsakade av lokala utsläpp medför vid sådana tillfällen speciellt stora skaderisker.

Även i Centraleuropas skadade skogsområden observeras stora haltvariationer från dag till dag. För diskussionen om skogsskador av ozon är det betydelsefullt att varken medelhalter eller maximalhalter i Västtysklands skogsområden skiljer sig särskilt mycket från vad som observerats i södra Sverige.

Plymreaktioner. Haltvariationerna i tid och rum blir mycket komplicerade för atmosfärkemiskt bildade reaktiva ämnen. Vid studier av oxidantbildning i storstadsområden brukar halter av olika ämnen i en mätpunkt avsättas utefter en tidsskala. Med tanke på effekter på skog är det intressant att i stället studera hur halterna varierar med avståndet från utsläpp av kolväten och kväveoxider. I faktaruta illustreras schematiskt

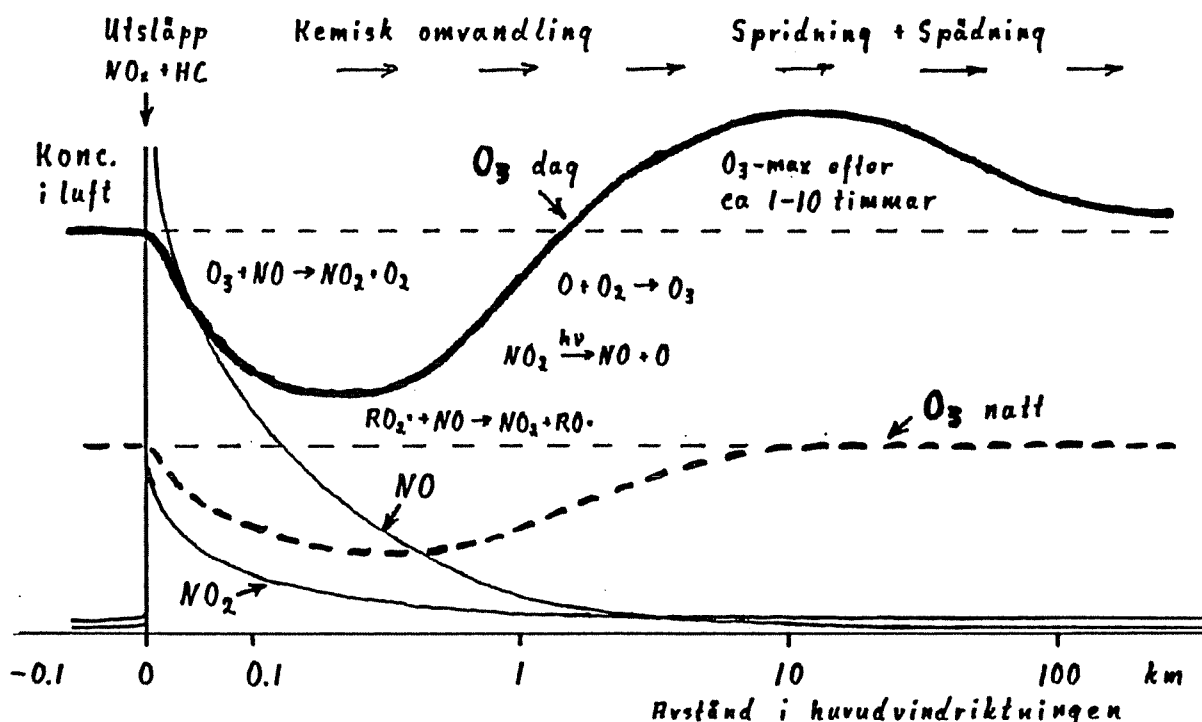
hur halten av ozon varierar i en utsläppsplym. Andra oxidanter kan i viktiga avseenden förväntas uppträda på likartat sätt.

I tätorter är ofta oxidanthalterna jämförelsevis låga och i stället är halterna förhöjda i omgivningarna. Detta kan förklaras av att utsläppen av kväveoxider och kolväten tillsammans bildar en tätortsplym. Plymen från Göteborg har t ex visats ge högst ozonhalter några mil utanför staden. Stora utsläpp ger ofta förhöjda oxidanthalter på flera tiotal mils avstånd. Ju reaktivare kolvätena i ett utsläpp är ju närmare utsläppskällan uppnås maximala oxidanthalter och ju högre blir som regel dessa halter.

Bilismens stora och dessutom samtidiga utsläpp av kolväten och kväveoxider är den dominerande orsaken till oxidantbildning. Morgonrusningens utsläpp ligger i tid så att de gynnar oxidantbildning mitt på dagen. Under vissa förhållanden blir denna så effektiv att höga halter erhålls även inne i tätorterna. Eftermiddagens och kvällens utsläpp ger främst oxidantbildning nästa dag på de ofta stora avstånd där föroreningarna då finns.

Vanligtvis behövs minst ett par timmar för att uppnå maximala oxidanthalter i en ordinär utsläppsplym från en tätort, ett industriområde eller en trafikled. Vindhastighet och vindriktning blir då i hög grad avgörande för vilka områden som drabbas hårdast. Vid kuster och större sjöar bestämmer land- och sjöbris ofta vindförhållandena under episoder med kraftig oxidantbildning. Ju svagare vindstyrkan är desto närmare utsläppskällan uppnås höga oxidanthalter.

## Haltvariationer i en utsläppsplym av kolväten och kväveoxider



När luft inblandas i utsläppet reagerar luftens ozon med plymens kväveoxid och ozonhalten sjunker. Denna effekt förstärks om utsläppet också innehåller alkener och andra kolväten som reagerar med ozon.

Under dagtid ökar efterhand ozonbildningen i plymen via fotokemiska reaktioner. Samtidigt minskar kväveoxidhalterna snabbt genom reaktion och genom spridning och spädning. Ozonhalterna ökar, uppnår, överskrider och närmar sig sedan åter de regionala halterna (observera den logaritmiska avståndsskalan). Plymens breddning bidrar till att stora områden får haltökningar.

Nattetid är de regionala ozonhalterna lägre. I plymen sker då bara de ljusberoende förbrukningsreaktionerna med kväveoxid och alkener. Ozonhalterna återgår på avstånd till de regionala genom spridning och spädning.

Hur mycket halterna sänks och höjs och hur stort avståndet blir till minimum och maximum beror på många faktorer. Minskande vind och ökande temperatur och ljus kan antas öka haltskillnaderna och minska avståndet till extremvärdena. Detsamma gäller för reaktiva kolväten som alkener jämfört med reaktionströga som t ex alkaner. Större utsläpp ger självklart mer ozonbildning men också mer markerade sänkningar av ozonhalterna nära utsläppen.

Skogsluft. För effekterna på skog har det stor betydelse vad som händer kemiskt i luften i trädens närhet.

Den välavvägda naturliga kemiska miljön i skogsekosystemets luft störs av luftföroreningar på ett komplicerat sätt som är mycket svårt att överblicka. Ökade halter av kväveoxider innebär t ex att skogsluftens terpenkolväten inte bryts ned på det sätt ekosystemet är anpassat till. Luftföroreningarna är alltså inte bara skadliga i sig själva utan de kan också göra ekosystemets egna kemiska ämnen skadliga för t ex skogen.

Terpenkolväten innehåller dubbelbindningar som reagerar mycket snabbt med ozon. I själva verket finns det anledning att misstänka att dessa ämnen är ett viktigt led i växternas försvarssystem mot naturligt förekommande reaktiva ämnen som ozon. Ozonhalterna hålls nere inne bland träden och speciellt vid barrens och bladens ytor varifrån isopren och andra terpenkolväten avges. Barrer som ju skall fungera flera år avger särskilt stora terpenmängder.

På grund av torrdeposition blir halterna av de flesta luftföroreningar lägre inne i trädskiktet än ovanför trädtopparna och över öppna ytor. Reaktionerna med terpenkolväten ökar dessa haltskillnader för oxidanter.

Ämnet X och synergism. Såväl allmänhet som forskare vill gärna försöka hitta ett enskilt ämne, X, att skylla en biologisk skadeeffekt på. För skogsdöden kan det mycket väl vara så att ett enskilt ämne som ozon kan ha stor betydelse. Samtidigt är det mycket sannolikt att ett stort antal av de tusentals nästan okända atmosfärkemiskt bildade ämnena också har betydande skadeeffekter.



Bland ämnen som fått en undanskymd plats i diskussionen av skogsskador märks mutagena ämnen som bildas atmosfärkemiskt i låga halter. Ett annat exempel på luftkemins nyckfullhet och komplexitet utgör bildningen av växtbekämpningsmedlet triklorättiksyra från vissa klorkolväten. Man kan alltså leta fram en del misstänkta ämnen, men att sortera fram alla som på olika sätt ger skadeeffekter är närmast en omöjlighet.

Den främsta faran med att leta efter enskilda skadliga ämnen ligger kanske i att man missar samverkande, s k synergistiska, effekter mellan två eller flera ämnen. I komplexa blandningar av luftföroreningar kan synergistiska effekter betyda mer än effekterna av alla enskilda ämnen tillsammans. Samtidigt som man anstränger sig att minska utsläpp av speciellt skadliga ämnen måste man därför minska utsläppens komplexitet och de totalt utsläppta mängderna.

Spridningsbild och skogsskador. De haltvariationer för atmosfärkemiskt bildade ämnen som diskuterats förefaller väl förenliga med utbredningen av den nya typen av skogsskador. I detta avseende är skillnaden markant gentemot direktemitterade ämnen.

Den lokala skadebilden pekar mot torrdeposition som avgörande faktor. Observerade särskilt svåra skador i kanterna av skogsbestånd, på träd som skjuter upp ovanför skogsbestånd och på träd på höjdsträckningar kan särskilt nämnas. Denna skadebild kan förväntas bli särskilt markerad för oxidanter m fl ämnen vilkas halter sänks effektivt inne i trädskiktet.

Skador på skogar på berg och andra högt belägna områden långt från utsläpp förklaras sannolikt av torrdeposition av föroreningar som transporterats i högre luftskikt. Det har visats att bl a ozon kan transporteras på detta sätt från dag till dag över såväl vatten- som landområden.

Skogsskadorna i sydligaste Sverige ligger inom ett område där de stora utsläppen från Öresundsregionen kan ge höga halter av atmosfärkemiskt bildade ämnen. I Västsverige finns utöver trafikemissionerna stora industriella utsläpp av kolväten och kväveoxider från Göteborgsområdet, Trollhättanområdet och Stenungsund. Särskilt omfattande skogsskador tycks ha drabbat områden som utsätts för oxidanter och andra sekundärt bildade luftföroreningar från dessa utsläpp. En bidragande orsak kan vara långdistanstransporten till västkusten av bl a ozon. Rapporter från många andra håll i landet talar om skador nära trafikleder och inom ett par mils avstånd från olika utsläpp. Kopplingen mellan skogsskador och olika svenska utsläpp är dock dåligt känd. Det är därför viktigt att inventeringar av skogsskador läggs upp så att sådana samband avslöjas så tydligt som möjligt.

Framtidsutsikter. De långa och varma högtrycksperioderna somrarna 1982 och 1983 innebar ovanligt gynnsamma förhållanden för atmosfärkemiska reaktioner. Detta har sannolikt varit avgörande för de snabbt ökande svenska skogsskadorna.

Det är alltså uppenbarligen så att en eventuell kommande uppbromsning av skadeförloppet inte innebär att skogsskadorna kan skyllas på de senaste årens torra. Däremot kan vi kanske hoppas på att ett par lågtrycksdominerade somrar kan ge oss den tid som behövs för att minska utsläppen så mycket att en katastrof för skogen kan undvikas.

Det är då betydelsefullt att de flesta atmosfärkemiskt bildade ämnena i mycket högre grad än t ex svavelnedfallet härrör från våra egna svenska utsläpp. I den mån skogsskadorna beror på sådana ämnen har vi därför i hög grad skogens öde i våra egna händer.

# CHALMERS

## PRESS INFORMATION

INFORMATIONSSSEKRETARIATET  
Lars Alvegård

(26)  
1985-03-26

### CHALMERS FORSKARFÖRHÖR OM BILAVGASER OCH SKOGSDÖD

---

Chalmers arrangerade den 25 mars ett forskarförhör om bilavgasernas roll för skogsdöden. Ett referat av forskarförhöret kommer att publiceras före sommaren.

Under förhörsdagen framkom bl a följande:

1. Lokala skogsskador orsakade av luftföroreningar har länge varit kända. De stora regionala skadorna är emellertid ett nytt och mycket större problem.
2. Luftföroreningar minskar trädens motståndskraft mot naturliga påfrestningar såsom torra och skadeinsekter. Dessutom hämmas tillväxten.
3. För varje förorening som släpps ut i luften kan man räkna med att det bildas tio nya ämnen genom omvandling i atmosfären.
4. Uppskattningsvis beror mellan 30 och 70 procent av de svenska skogsskadorna på bilavgasutsläpp.
5. Osäkerheten i kvantifieringen beror på att forskarna inte är överens om den relativa betydelsen av luftföroreningarnas direkterfektioner kontra deras effekter via markförsurningen.

6. Mycket talar dock för att skogsdöden inte till största delen är ett försurningsproblem. Det är istället troligen ozon, och andra ämnen som bildats av de utsläppta föroreningarna i atmosfären, som betyder mest för de regionala skogsskadorna.
7. Ozonhalterna har ökat kraftigt. Detta beror främst på biltrafiken som är den dominerande utsläppskällan för de kväveoxider och kolväten som deltar i ozonbildningen.
8. Ozonbildningen sker i atmosfären flera mil från utsläppen. Avståndet är direkt beroende av vindhastigheten.
9. Redan den naturliga bakgrundshalten av ozon är ca hälften av vad som kan ge skador på känsliga växter.
10. Kväveoxidutsläppen från bilar ökar kraftigt med högre hastighet, vilket de svenska avgasproven inte tar hänsyn till. Dessa är utformade enbart med tanke på hälsoeffekter.
11. Kväveoxider förstärker också svaveldioxidens skadlighet så att skogsskador uppstår vid lägre svaveldioxidhalter.
12. Effekterna av kolväteutsläppen från biltrafiken är dåligt kända, bl a beroende av det mycket stora antalet olika kolväten.
13. För att komma tillrätta med de svenska skogsskadorna måste utsläppen från biltrafiken minskas i stora delar av Nord- och mellaneuropa. De direktpåverkande ämnena har emellertid i högre grad än de försurande inhemska ursprung, varför åtgärder inom landet är mera verkningsfulla för skogsskadorna än för sjö- och markförsurningen.
14. Forskarna underströk att även om man inte vetenskapligt kan helt förklara varför träden skadas, så vet man tillräckligt mycket för att klart kunna motivera minskade utsläpp av föroreningar i luften.

Deltagare i förhöret var:

Ordf: Bengt Björklund  
rådman vid Göteborgs Tingsrätt

Svarande: Peringe Grennfelt  
IVL, Göteborg  
Lena Skärby  
IVL, Göteborg  
Göran Petersson  
docent, teknisk kemi, CTH  
Bengt Nihlgård  
växtekolog, Lunds univ

Utfrågare: Björn Lindahl  
miljövård, Göteborgs univ  
Rolf Bergqvist  
stiftsjägmästare, Göteborg  
Magnus Lenner  
fil dr oorganisk kemi, CTH  
Gerhard Salinger  
AB Volvo

Chalmers Forskarförhör syftar till att klarlägga konsekvenserna av den tekniska utvecklingen. Forskarförhören koncentreras på angelägna, helst dagsaktuella, områden. Främst tas kontroversiella frågor upp, men även svåra, komplexa problem där svaren kan vara mångfacetterade.

Det största värdet hos Chalmers Forskarförhör ligger i att de kan skapa klarhet i frågor där oenighet råder och där andra metoder att nå samstämmighet visat sig fungera dåligt.

Genom Chalmers Forskarförhör kan man uppnå relevant och begripligt formulerad kunskap som användbart beslutsunderlag för politiker och tjänstemän.

Massmedia får genom Chalmers Forskarförhör tillgång till initierad information inom svåra problemområden.