



# RAPPORT

Ralph Nussbaum, Finn Englund

## **Utsläpp till luft av flyktiga organiska ämnen (VOC) från virkestorkar**

**Förstudie**

**Träteknik**

Ralph Nussbaum, Finn Englund

UTSLÄPP TILL LUFT AV FLYKTIGA ORGANISKA ÄMNEN  
(VOC) FRÅN VIRKESTORKAR  
Förstudie

Trätec, Rapport P 9709085

ISSN 1102 - 1071

ISRN TRÄTEK - R -- 97/085 -- SE

Nyckelord

*kiln drying*  
*ozone*  
*terpenes*  
*VOC*  
*wood*

Stockholm september 1997

Rapporter från Trätekniskt Institutet — Institutet för träteknisk forskning — är kompletta sammanställningar av forskningsresultat eller översikter, utvecklingar och studier. Publicerade rapporter betecknas med I eller P och numreras tillsammans med alla utgåvor från Trätekniskt Institutet i löpande följd.

Citat tillåtes om källan anges.

---

*Reports issued by the Swedish Institute for Wood Technology Research comprise complete accounts for research results, or summaries, surveys and studies. Published reports bear the designation I or P and are numbered in consecutive order together with all the other publications from the Institute.*

*Extracts from the text may be reproduced provided the source is acknowledged.*

Trätekniskt Institutet — Institutet för träteknisk forskning — betjänar de fem industrigrenarna sågverk, trämanufaktur (snickeri-, trähus-, möbel- och övrig träförädlingsindustri), träfiberskivor, spånskivor och plywood. Ett avtal om forskning och utveckling mellan industrin och Nutek utgör grunden för verksamheten som utförs med egna, samverkande och externa resurser. Trätekniskt Institutet har forskningsenheter i Stockholm, Jönköping och Skellefteå.

---

*The Swedish Institute for Wood Technology Research serves the five branches of the industry: sawmills, manufacturing (joinery, wooden houses, furniture and other woodworking plants), fibre board, particle board and plywood. A research and development agreement between the industry and the Swedish National Board for Industrial and Technical Development forms the basis for the Institute's activities. The Institute utilises its own resources as well as those of its collaborators and other outside bodies. Our research units are located in Stockholm, Jönköping and Skellefteå.*

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sida
Sammanfattning	3
Bakgrund	3
Naturlig förekomst av VOC i svensk furu och gran	3
Experimentella data på VOC-utsläpp från virkestorkar	4
Beräknat VOC-utsläpp från sågverk/virkestorkar jämfört med totalt utsläpp från naturliga källor	9
Utsläpp av terpenener i förhållande till andra industriella utsläpp	9
Monoterpenener och marknära ozon	10
Slutsatser	11
Referenser	12

## Sammanfattning

Utsläpp av monoterpener från sågverk, i synnerhet i samband med virkestorkning, har på senare tid uppmärksamats som utsläppskälla av VOC. I rapporten redovisas en sammanställning av mätningar utförda i USA, Nya Zeeland och Tyskland. Kvalitativ analys visar att det i huvudsak avges monoterpener med varierande inslag av avspaltningsprodukter som t ex ättiksyra. Kvantitativ bestämning av VOC på utgående luft från virkestorkar synes ge ganska osäkra resultat. Som mest har VOC-halter på 0,27% av träets torrsvikt uppmätts för Southern pine, men flertalet undersökningar redovisar betydligt lägre värden. Inga klara samband kan konstateras mellan VOC-utsläpp och torktemperatur. Utsläppen av monoterpener från virkestorkar ställs i rapporten i relation till naturligt utsläpp från skogen. Atmosfärkemiska modellsimuleringar visar att VOC-utsläpp från sågverk inte i nämnvärd grad bidrar till att öka halten av marknära ozon.

## Bakgrund

Yttre miljöfrågor och luftvård är föremål för ökande uppmärksamhet, nationellt och internationellt. Sveriges riksdag har beslutat att utsläppen av flyktiga organiska ämnen (VOC) till den yttre miljön bör minska med 50 % fram till år 2000 räknat från 1988 års nivå. Terpener, som huvudsakligen har sitt ursprung i trä, ingår i denna grupp av ämnen. Betydelsen av sågverkens torkanläggningar som utsläppskällor diskuteras därför för närvarande med starkt ökande intresse. För certifierad miljöredovisning av sågverk enligt EMAS och ISO 14 000 ingår som en del av arbetet att redovisa beräknade värden på utsläpp av VOC. Det är rimligt att anta att det helt dominerande utsläppssteget av VOC i ett sågverk sker i samband med artificiell virkestorkning.

Avsikten med denna förstudie är att ge en översikt av tillgängliga data beträffande avgivningen av VOC vid virkestorkning och ställa dessa i relation till andra utsläpp till atmosfären; industriella eller naturliga. Bl a redovisas här kortfattat publicerade resultat från VOC-mätningar på virkestorkar. En fyllig litteraturstudie på området, där även emission vid trätorkning av spån, faner etc. behandlas, har utförts på Forest Research Institute, Nya Zeeland (1994). Rapporten är dock ännu inte officiell.

## Naturlig förekomst av VOC i svensk furu och gran

Av barrträdens extraktivämnen är det i stort sett endast de s k monoterpenerna som kan räknas som flyktiga. Monoterpener är beteckningen på en omfattande grupp av naturprodukter. Normala monoterpenkolväten består av 10 kolatomer och 12-20 väteatomer, den vanligaste summaformeln är  $C_{10}H_{16}$ . Oxygenerade terpener (ketoner, aldehyder, alkoholer, syror, laktoner m m med 1-2 syreatomer eller ibland fler) förekommer också, men mängderna av dessa är i trä betydligt mindre. De i furu och gran vanligast förekommande monoterpenerna är  $\alpha$ -pinen,  $\beta$ -pinen, limonen och 3-karen. Kokpunkten för dessa föreningar ligger i intervallet 155-175 °C.

Vid trätorkning kan, förutom monoterpener, även andra produkter emitteras genom s k ångdestillation. Dessa, huvudsakligen bestående av hartssyror, fettsyror och högre terpener, kondenserar då de kyls i omgivande luft och bildar små droppar, s k aerosoler, vilka kan framträda som en blå dimma under förutsättning att gasen är så torr att vattenånga inte kondenserar. Fenomenet är känt som "blue haze" och förekommer främst i samband med

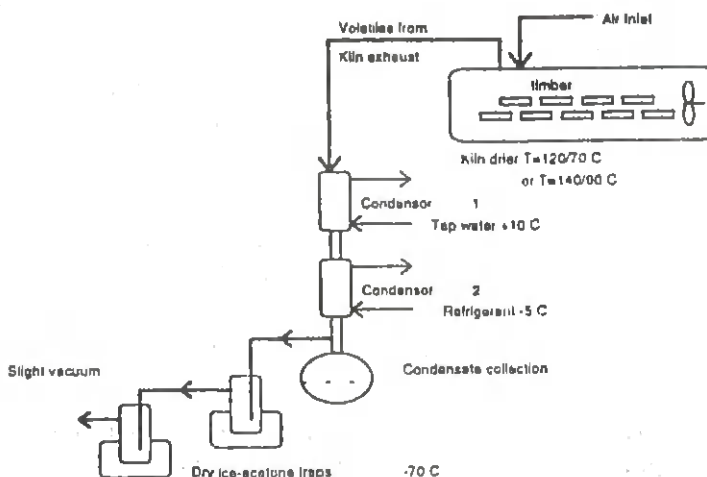
torkning vid mer intensiva förhållanden, med högre temperaturer än vid konventionell virkestorkning, t ex vid spån- och fanertorkning.

Torkning vid högre temperaturer medför även en viss termisk nedbrytning av trä, vilket resulterar i emission av t ex myrsyra, ättiksyra, formaldehyd och furfural. Säkra uppgifter saknas om hur höga temperaturer som krävs för att dessa lättflyktiga nedbrytningsprodukter ska börja göra sig gällande i nämnvärd grad. Broege et al. (1996) anger 130 °C som en ungefärlig gräns. Sannolikt är detta i någon mån beroende av träslag

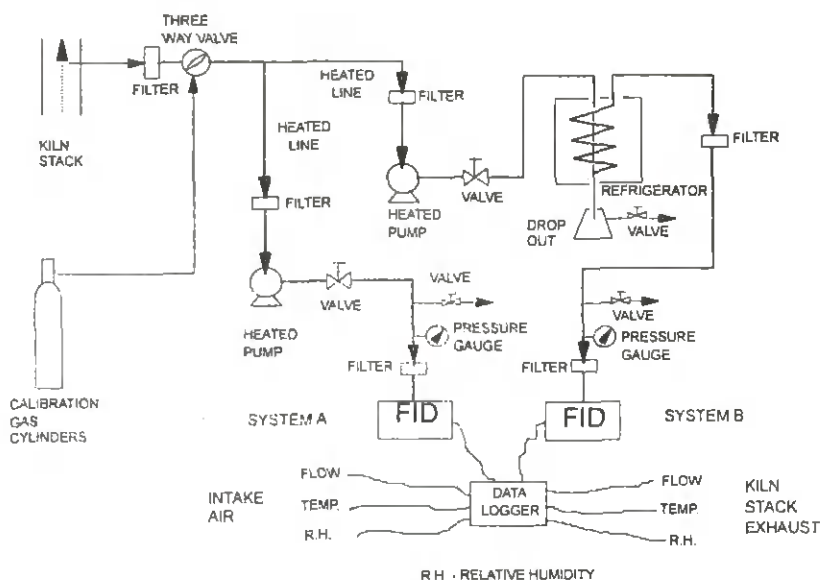
Halten av monoterpener i olika barrträrarter kan variera mellan 0,02 och 2 % av träets torra vikt. För en och samma art varierar halten dels mellan olika trädbestånd, dels inom det enskilda trädet. De i litteraturen redovisade uppgifterna för svensk furu och gran är relativt få och knapphändiga. Furu (*Pinus silvestris*) har en monoterpenhalt på 0,2-0,6 vikt% av träets torra vikt och gran (*Picea abies*) 0,1-0,15 %, (Assarsson & Åkerlund, 1966; Kimland & Norin, 1972; Stenlund, 1978; Sjöström, 1981; Hafizoglu, 1983). Studier som redovisar monoterpenhalten för ett stort, representativt furu- och granmaterial saknas ännu.

### Experimentella data på VOC-utsläpp från virkestorkar

Ett direkt sätt för kvalitativ och kvantitativ bestämning av VOC från virkestorkar är att kondensera ut innehållet i utgående luft i kylfällor. Kondensaten analyseras därefter lämpligast med GC/MS (gaskromatografi/masspektrometri). Ett schematiskt uppsamlingsystem visas i Figur 1. Alternativt kan kontinuerlig kvantitativ analys på utgående luftström ske med ett system baserat på en sk flamjonisationsdetektor (FID), varvid enbart totalhalten kol kan erhållas. Den ofta använda amerikanska metoden "Method 25A" (US Environmental Protection Agency) är ett sådant analysystem (se Figur 2). VOC-bestämning av den utgående luften där man samlar ämnen på adsorbentror, laddade med polymerkorn eller aktivt kol, kan i princip användas även om vattenångan i utgående luft skulle utgöra ett problem vid denna typ av mätningar.



Figur 1. Schematisk bild på uppsamlingsystem med kylfällor för VOC-bestämning på utgående luft från virkestork (Ref. 3).



Figur 2. Schematisk bild på mätsystem för kontinuerlig kvantitativ VOC-analys enligt "Method 25A" i två parallella linjer med möjlighet till individuella inställningar (Ref. 6).

Kvantitativ bestämning av total avgiven mängd VOC kan göras på våtkemisk väg, t ex genom att små träprover lakas i lämpligt organiskt lösningsmedel (s k Soxhletextraktion). En annan våtkemisk metod baserar sig på alkalisk ångdestillation (används i Ref. 6). Om våtkemisk analys sker på ett representativt trämaterial före och efter torkning borde man kunna erhålla ett ganska exakt mått på hur mycket av träets ursprungliga innehåll av extraktivämen som avgått vid torkningen.

Antalet redovisade mätningar på VOC från virkestorkar är relativt få. Främst är det universitet och forskningsinstitut i USA och Nya Zeeland som utfört denna typ av mätningar. Samtliga är gjorda under de senaste åren varför man kan förvänta sig ett ökat antal mätningar i den närmaste framtiden. Resultat från mätningar i Sverige tycks saknas helt.

En resultatsammanställning baserad på såväl publicerade som mer inofficiella undersökningar redovisas i Tabell 1.

Som framgår av Tabell 1 är flertalet mätningar gjorda på andra barrträarter än "svensk" furu och gran. Dessutom har maximala torktemperaturen i de flesta fall varit högre än vad som är normalt i Sverige (d v s  $>70$  °C). En enda studie har påträffats där man använt de arter av furu och gran som ingår i det naturliga svenska skogsbeståndet, *Pinus silvestris* och *Picea abies*, (Ref. 7). Resultaten visar på låga VOC-utsläpp vid torkning av furu och gran vid en jämförelse med barrträarter i övriga studier.

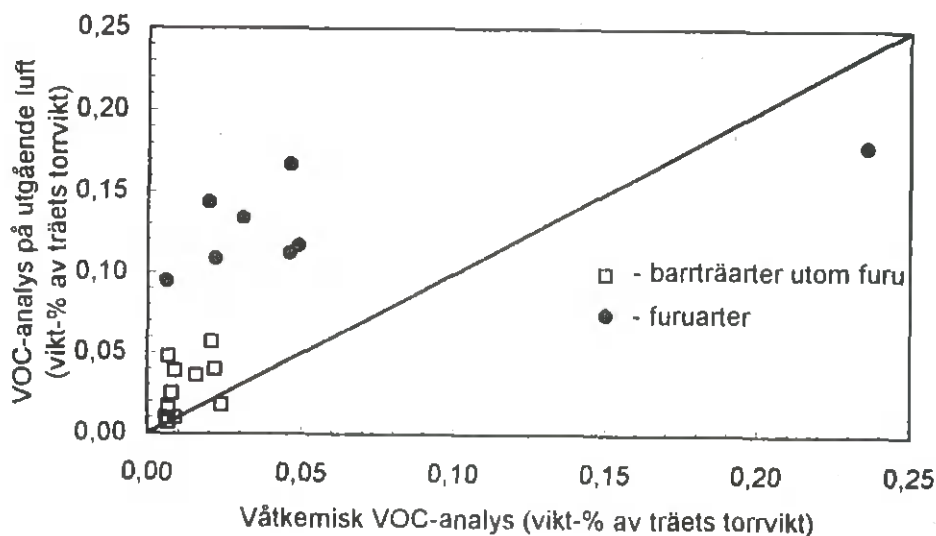
Det är av stor vikt att kunna fastställa hur stor del av emitterad mängd VOC som man har kunnat fånga upp i kondensat för senare analys, alternativt analyserat kontinuerligt. I några av undersökningarna redovisas parallella bestämningar av VOC-halten i material före och efter torkning bestämd på våtkemisk väg. Sådan information kan ge en bra vägledning på hur stor andel av de avgivna ämnena som man faktiskt lyckats fånga upp vid VOC-analys på utgående luft. Försök utförda av Punsuvon (1994), som delvis ingår i Ref. 1 (Ingram et al., 1995), visade att fem torkförsök vid 115 °C gav som resultat att i medeltal 28 % av träets ursprungliga halt



av VOC återstod efter torkningen. En jämförelse mellan VOC-analys på utgående luft och VOC-analys med våtkemisk Soxhletextraktion visade att VOC-analyserna på utgående luft för de fem torkförsöken utgjorde mellan 2 och 80 % av värdena från Soxhletextraktionen (medeltal 34 %). I en mycket omfattande och ambitiös studie av Caron et al. (Ref. 6) visade våtkemiska analyser att mellan 70 och 94% (medeltal 84%) av träets innehåll av VOC återstod efter torkningen. Förvånande nog var de uppmätta VOC-halterna på utgående luft i flertalet analyser klart högre än vad den våtkemiska analysen visade (se Figur 3). Liksom fallet var i Punsuvons mätningar framkom det dock inget samband mellan avgången VOC analyserad med Soxhlet och VOC-analys direkt på utgående luft. Fel i analysen kan bl a bero på otillräcklig kontroll av torkens luftflöden.

Av VOC-värdena i Tabell 1 är det kanske symptomatiskt att de högsta värdena erhållits i ett försök där man uttryckligen använt en "tätad" tork (Ref. 2). Även i Ref. 6 omnämns att ansträngningar gjorts för att förhindra luftläckage, och VOC-värdena redovisade i denna studie ligger också överlag relativt högt. I övriga studier är kvantifierad mängd VOC ofta låg. Studierna är mycket sparsamma på kommentarer kring de låga halterna. Speciellt noterbart är de relativt låga monoterpenhalter och de höga halter av övrig VOC som rapporteras från Nya Zeeland vid torkning av *Radiata pine* (Ref. 3 och 4).

De relativt knapphändiga och osäkra uppgifter på mängden VOC som avges vid virkestorkning utgör inte ett tillräckligt underlag för en säker bedömning och uppskattning av motsvarande mängder för svensk furu och gran vid torktemperaturer normala i Sverige. Även om ett tillförlitligt mätsystem fanns tillgängligt skulle det krävas omfattande mätserier på ett stort och representativt material för att erhålla invändningsfria medelvärden på avgiven VOC-mängd. Därför är det rimligt att anta att sågverkens redovisning av kvantitativa VOC-utsläpp från virkestorkar även framöver kommer att vara baserade på rena överslagsberäkningar. Om man i första hand är ute efter att kvantitativt bestämma VOC-utsläppen kan våtkemisk analys på material före och efter torkning vara ett alternativ värt att gå vidare med framför en mer omständlig och osäker analys på utgående luft



Figur 3. Jämförelse mellan VOC-emission analyserad på utgående luft och våtkemisk VOC-analys (Ref. 6; ursprungsdata omräknade till viktprocent monoterpener)



Vid kvalitativ analys är det emellertid nödvändigt att utföra denna direkt på utgående luft. Här har de hittills utförda studierna bidragit med viktig information då det kunnat visas att det förutom de förväntade rena monoterpenerna även emitteras andra reaktionsprodukter, t ex oxygenerade monoterpener. Även kända avspaltningssprodukter som ättiksyra, formaldehyd, metanol och myrsyra har detekterats.

De utförda studierna på området är ännu otillräckliga för att man ska kunna dra några slutsatser om torktemperaturens inverkan på VOC-utsläppet. I de två undersökningar där en direkt jämförelse mellan två torktemperaturer förekommer visar den ena (Ref. 2) ingen skillnad i totalt VOC-utsläpp vid 82 °C och 118 °C, även om torkförloppet givetvis sker snabbare vid den högre temperaturen. I den andra undersökningen (Ref. 3) erhålls 60-70 % högre VOC-halter vid 140 °C jämfört med vid 120 °C.

Tabell 1. Sammanställning av data på mätningar av VOC från virkestorkar.

Referens	Träslag	Torktyp	Virkesdimension (tj. x br. x l) mm	Max. torktemp. grader C	VOC, vikt% av träets torrvt Monoterpener <sup>a)</sup> Övr. VOC <sup>b)</sup>
1) Ingram et al., 1995	Southern pine	Tork i pilotskala	50 x 150 x 610	115	0,001 - 0,15 <sup>c)</sup>
2) Ingram et al., 1996	Southern pine	Tätad experimenttork	"dimension lumber"	82	0,27 <sup>c)</sup>
"	"	"	"	118	0,26 <sup>c)</sup>
3) McDonald, Wastney, 1995	Radiata pine, splint	Tork i labskala	35 x 205 x 600	120	0,012
"	"	"	"	140	0,020
4) McDonald et al., 1996	Radiata pine, splint	Vakuomtork	50 x 100 x 3000	85	0,005
5) Milota, 1997	Douglas fir	Tork i labskala	43 x 147 x 1118	75 - 90	0,05 <sup>c)</sup>
6) Caron et al., 1996	Tio am. barrträarter Arter exkl. furu Furuarter	Småskalig tork	(25-50) x 100 x 2450	71 - 104	0,008 - 0,057 <sup>c)</sup> 0,112 - 0,173 <sup>c)</sup>
7) Broege et al., 1996 <sup>d)</sup>	Furu ( <i>Pinus silv.</i> ) Gran ( <i>Picea abies</i> ) Furu ( <i>Pinus silv.</i> ) Gran ( <i>Picea abies</i> )	Industrietork " Försökstork "	tj.: 30 tj.: 24 tj.: 50 tj.: 60	65 60 66 66	0,038 0,005 0,021 <0,001

a) Inkluderar även oxygnerade produkter som t ex terpineol

b) Huvudsakligen ättiksyra, formaldehyd, metanol och myrsyra

c) Huvudsakligen monoterpener

d) Innehåller även data på bok och ek

## Beräknat VOC-utsläpp från sågverk/virkestorkar jämfört med totalt utsläpp från naturliga källor

Under förutsättning att träets hela innehåll av VOC avges under sågverksprocessen (sågning, kapning, flisning, hyvling, lagring och torkning) kan det teoretiskt maximala VOC-utsläppet från svenska barrsågverk beräknas till totalt 34 400 ton motsvarande 1,1 kg/m<sup>3</sup> virke. Då emellertid långt ifrån träets totala innehåll av VOC avges i samband med sågning/torkning ligger förmodligen det sanna värdet en bra bit under detta värde. För framställning av 1,0 m<sup>3</sup> sågad barrträråvara åtgår det 2,0 m<sup>3</sup> f ub (f ub = fast mått under bark). Det teoretiskt maximala utsläppet från virkestorkar beräknas således till 17 200 ton, baserat på en årsproduktion (1995) av 14 737 000 m<sup>3</sup>.

Uppgifterna är framräknade med data från Skogsstatistisk årsbok (1997) och sågverksinventeringen SÅG 95 (Jäppinen & Warensjö, 1997). I beräkningarna har VOC-innehållet i furu satts till 0,4 % av träets torra vikt och i gran till 0,13 %.

Det totala naturliga utsläppet av VOC från barrskog i Sverige är beräknat till 355 000 ton (Naturvårdsverket, 1994). (Denna uppgift kan komma att revideras något framöver (Janson, 1997)). Med uppgift om Sveriges totala virkesförråd (skogsareal) motsvarar detta ett jämförelsetal på 0,19 kg/m<sup>3</sup> virke på rot (beräknat på m<sup>3</sup> f ub).

## Utsläpp av terpenier i förhållande till andra industriella utsläpp

Det totala utsläppen av VOC (eg. NMVOC = non-methane VOC) från olika sektorer finns redovisade av Naturvårdsverket (1994) för åren 1988, 1990 och 1992 (se Tabell 2). VOC-utsläppen har som framgår av Tabell 2 minskat med ca 14 % från 1988 till 1992. Riksdagens mål om en halvering av VOC-utsläppen från 1988 till 2000 kan därför bli svårt att uppnå.

Tabell 2. Utsläpp till luft i Sverige 1988, 1990 och 1992 av NMVOC (ton) från olika källor. (Ref.: Naturvårdsverket. Rapport 4312)

Källa	1988	1990	1992
Transportsektorn och arbetsmaskiner	253 100	224 000	203 800
El- och värme- produktion	158 700	147 100	146 000
Industri <sup>1)</sup>	135 000	118 500	111 800
Hushåll	37 000	37 000	38 100
Bekämpningsmedel <sup>2)</sup>	1 700	1 700	1 700
<b>Summa:</b>	<b>585 600</b>	<b>528 300</b>	<b>501 500</b>

1) Exkl. industrins utsläpp för el- och värmeproduktion.

2) Exkl. industrins utsläpp för träskyddsbehandling.

En uppdelning av industrisektorns olika utsläppskällor visas i Tabell 3. Det bör påpekas att de redovisade värdena för terpenener från vedgård (upplag vid massatillverkning) och sågverk är framräknade med data på monoterpenhalter i trä som något överstiger de i denna rapport tidigare nämnda värdena (furu 0,4 %; gran 0,13 %). Terpenvärdena i Tabell 3 bygger också på antagandet att träets hela VOC-innehåll avges. Det är således rimligt att anta att VOC-utsläppen av terpenener ligger på en klart lägre nivå än de 36 000 ton som anges i Tabell 3. Det ska påpekas att förbrukningen av barrsågtimmer ökat med nästan 30 % från 1990 till 1995.

Tabell 3. Utsläpp av NMVOC (ton) 1992 från industrin exklusive energiproduktion. (Ref.: Naturvårdsverket, Rapport 4312)

Bransch	1992
Livsmedelsindustri exkl. bakning	270
Brödbakning inkl. hembakning	1 400
Skogsindustri	
massa/papper exkl. terpenener	8 700
terpenener från massa/papper	4 000
terpenener från vedgård	11 000
terpenener från sågverk	25 000
träskyddsbehandling	400
Grafisk industri	5 900
Oljeraffinaderi	8 500
Org. kemisk industri	4 800
Läkemedelsindustri	1 100
Plast och gummi	5 100
Färgfabriker	550
Metallindustri exkl. verkstad	1 400
Verkstadsindustri	
avfettning	8 000
lackering	12 000
övriga	5 000
Akkumulatorindustri	100
Mineral- och glasullfabriker	50
Trälackering	8 000
Kemtvätt	600
<b>Summa:</b>	<b>111 800</b>

### Monoterpenener och marknära ozon

Ozon produceras (och förstörs) naturligt i det övre atmosfärskiktet (stratosfären) och betydelsen av detta ozonlagers roll för absorption av UV-strålning är väl känd. I det marknära atmosfärskiktet (troposfären) finns ozon närvarande i lägre koncentrationer än i stratosfären, och där kan man finna större fluktuationer i koncentrationen. Förhöjda halter av marknära ozon bildas oftast i områden med stora utsläpp av kolväten och med luftföroreningar i form av kväveoxider. Ozon, som är en mycket reaktionsbenägen oxidant, tros vara den främsta orsaken till de skogsskador som observerats i Europa och Nordamerika och som hänförs till luftföroreningar. Växter som exponeras för ozon drabbas av störd fotosyntes och försämrad tillväxt. Effekten på barrträd kan beskrivas som att barren åldras i förtid, (Naturvårdsverket, 1995).

Kortfattat bildas ozon i troposfären vid reaktion mellan syrgasmolekyler med atomärt syre, som i sin tur produceras genom fotodissociation av kvävedioxid i UV-ljus, varvid även kväveoxid bildas. Kväveoxiden reagerar vidare med ozon och återbildar kvävedioxid och syrgas, vilket alltså begränsar nivån på ozon. Närvaron av kolväten i atmosfären avbryter denna reaktionscykel på så sätt att kolväten reagerar med närvarande hydroxylradikaler och bildar peroxidradikaler, vilka i sin tur oxiderar kväveoxid till kvävedioxid. Reaktionerna leder till en nettoökning av ozon.

I stort sett samtliga flyktiga organiska ämnen bidrar till ozonbildningen. I första hand är det de skolefinkolvätena, främst eten, som har störst förmåga att bilda ozon. Även terpenener ingår i denna grupp av kolväten.

Ozonbelastningen på Sverige beror i huvudsak på utsläpp och ozonbildning på kontinenten.

Atmosfärkemiska modellsimuleringar utförda av Institutet för vatten- och luftvårdsforskning (IVL) har visat att terpenutsläppen från ett större sågverk i södra Sverige endast bidrar obetydligt till den regionala ozonbildningen, (<1%), (IVL, 1996). Även motsvarande studier utförda på svenska massabruk, där terpenutsläppen per bruk beräknas vara högre jämfört med sågverk, visade att tillskottet till ozonbildningen är mycket litet (Boström et al., 1992).

### Slutsatser

VOC från virkestorkar består till största delen av monoterpenener samt av oxygenerade monoterpenener och i mindre omfattning avspaltningsprodukter som ättiksyra, formaldehyd, metanol och myrsyra.

Kvantitativ bestämning av VOC på utgående luft från virkestorkar är omständlig att utföra och resultaten blir ofta osäkra. Jämförande studier mellan kvantitativ VOC-mätning på utgående luft och våtkemisk VOC-bestämning på representativt material före och efter torkning har inte kunnat visa på någon bra korrelation. I en tysk undersökning har VOC-halten vid torkning av "svensk" furu och gran vid 60-65 °C uppmätts till 0,043 respektive 0,006 % av träets torra vikt. Ytterligare forskningsinsatser är nödvändiga för att bekräfta nivåerna på VOC-utsläppen.

Mätningar pågår för närvarande på några håll i bl a USA och i Nya Zeeland. Resultaten från flertalet av dessa är inte direkt överförbara till svenska förhållanden på grund av andra träslag och högre torktemperaturer. Dessutom är den samlade resultatmängden ännu relativt knapphändig.

En uppskattning visar att VOC-utsläppen vid virkestorkning av barrträ teoretiskt kan uppgå till maximalt 1,1 kg/m<sup>3</sup>. Det naturliga utsläppen från barrskog motsvarar 0,19 kg/m<sup>3</sup>. Av antropogent producerade utsläpp i Sverige står utsläpp från virkestorkar för teoretiskt maximalt 4 %.

Marknära ozon kan verka skadligt på bl a växter och grödor. Ozonbelastningen på Sverige styrs i huvudsak av utsläpp och ozonbildning på kontinenten. Modellsimuleringar har visat att VOC-utsläpp från större sågverk endast i mycket ringa grad bidrar till ökningen av marknära ozon.

## Referenser

### Referenser till Tabell 1

1. Ingram, L.L., Taylor, F.W., Punsavon, V., Templeton, M.C.: Identification of volatile organic compounds emitted during drying of southern pine in pilot and laboratory experiments. In: Measuring and controlling VOC and particulate emissions from wood processing operations and wood based products, Forest Prod. Soc., Madison WI, Proceedings no. 7301, pp 35-40 (1995)
2. Ingram, L.L., Taylor, F.W., Templeton, M.C.: Volatile organic compound emissions from southern pine kilns. In: Drying Pacific northwest species for quality control, Forest Prod. Soc., Madison WI, Proceedings no. 7292, pp.41-45 (1996)
3. McDonald, A.G., Wastney, S.: Analysis of volatile emissions from kiln drying of radiata pine. Proceedings from 8<sup>th</sup> intern. symp. on wood and pulping chemistry, Heksinki, June 6-9, vol. III, pp 431-436 (1995)
4. McDonald, A.G., Gifford, J., Dare, P., Steward, D.: Analysis of volatile constituents in the condensate from vacuum drying of radiata pine. Forest Res. Inst., New Zealand. Unpublished internal report (1996).
5. Milota, M.R.: Dept. of Forest Prod., Oregon State Univ. Personal communications (1997)
6. Caron, A. et al. : A small-scale kiln study on method 25A measurements of volatile organic compound emissions from lumber drying. NCASI Techn. Bulletin no. 718, July 1996
7. Broege, M., Aehlig, K., Scheithauer, M.: Emissionen aus Schnittholztrocknern. Rapport från Institut für Holztechnologie Dresden (1996)

### Övriga referenser

- Assarsson, A., Åkerlund, G.: Studies on wood resin, especially the change in chemical composition during seasoning of the wood. Svensk Papperstidning, no. 16, pp.517-525 (1966)
- Boström, C-Å. et al.: VOC emissions from the Swedish pulp and paper industry, TAPPI Proc., Environmental conf., pp. 623-632 (1992)
- Hafizoglu, H.: Wood extractives of *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* and *Pinus brutia* with special reference to nonpolar components. *Holzforschung* 37(6):321-326 (1983)
- IVL: Uppdragsrapport L 95-258 (Södra Timber AB) (1996)
- Janson, R.: Monoterpenes from the boreal coniferous forest - Their role in atmospheric chemistry. PhD-thesis. Dept. of Meteorology, Stockholm Univ., Stockholm (1992)
- Janson, R.: Dept. of Meteorology, Stockholm Univ., Personal communications (1997)
- Jäppinen, A. & Warensjö, M.: Sågverkens råvara - SÅG 95. Sågverken nr 8, s.26 (1997)



Kimland, B., Norin, T.: Wood extractives of common spruce, *Picea abies* (L.) Karst. Svensk Papperstidning no. 10, pp.403-409 (1972)

Naturvårdsverket: Utsläpp till luft av flyktiga organiska ämnen 1992. Naturvårdsverket Rapport 4312, Solna (1994)

Naturvårdsverket: Fakta om marknära ozon och andra oxidanter. Faktablad nr 4 (1995)

Punsuvon, V.: Identification of volatile materials emitted during the drying of southern pine lumber. PhD-thesis. Dept. of Forest Prod., Mississippi State Univ., MS (1994)

Sjöström, E.: Wood chemistry - fundamentals and applications. Academic Press, New York, 1<sup>st</sup> ed, p. 84 and 89 (1981)

Skogsstatistisk årsbok 1997. Sveriges officiella statistik, Skogsstyrelsen, Jönköping (1997)

Stenlund, B.: Kemiska produkter inom träförädlingsindustrin. Tutkimus ja tekniikka (Forskning och teknik), no. 7, pp 20-28 (1978)

Taylor, F., Ingram, L.: Difficulties of measuring kiln emissions. Proc. of the 46<sup>th</sup> annual meeting of the Western dry kiln association, May 10-12, Reno, Nevada, pp. 87-90 (1995)

Thompson, A.L.: Volatile organic compounds emitted during drying of southern pine lumber. MSc-thesis, Dept. of Forest Prod., Mississippi State Univ., MS (1996)

Wastney, S.: Emissions from wood and biomass drying: A literature review. Forest Res. Institute, New Zealand, Unpublished internal report (1994)



Detta digitala dokument  
skapades med anslag från

**Stiftelsen Nils och Dorthi  
Troëdssons forskningsfond**

**Träte**k

INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Box 5609, 114 86 STOCKHOLM  
Besöksadress: Drottning Kristinas väg 67  
Telefon: 08-762 18 00  
Telefax: 08-762 18 01

Åsensvägen 9, 553 31 JÖNKÖPING  
Telefon: 036-30 65 50  
Telefax: 036-30 65 60

Skeria 2, 931 77 SKELLEFTEÅ  
Besöksadress: Laboratorgränd 2  
Telefon: 0910-652 00  
Telefax: 0910-652 65