

**IVL**

**INSTITUTET FÖR VATTEN- OCH LUFTVÅRDSFORSKNING**

HÄLSINGEGATAN 43  
STEN STUREGATAN 42

BOX 21060  
BOX 5207

100 31 STOCKHOLM  
402 24 GÖTEBORG

TEL. 08-24 96 80  
TEL. 031-81 02 80

**EFFEKTER AV OZON PÅ FOTOSYNTES- RESPIRATIONS- OCH  
TRANSPIRATIONSHASTIGHET HOS UNGA TALLPLANTOR**

Curt Bengtson

Avd. för fysiologisk botanik  
Göteborgs Universitet

Stig Larsson

Avd. för fysiologisk botanik  
Göteborgs Universitet

Lena Skärby

Institutionen för Vatten- och  
Luftvårdsforskning

B 417

Göteborg  
mars  
1978

**INSTITUTET FÖR VATTEN-  
OCH LUFTVÅRDSFORSKNING**  
Biblioteket

78-07-28

1 Utförande institution/Rapportutgivare (namn, adress, telefon)  
Institutet för Vatten-  
och Luftvårdsforskning Box 5207  
402 24 Göteborg 031/810280

PROJEKTBESKRIVNING 2 REF  
X TITELBLAD-RAPPORTER

PR

3 Datum

1978-05-18

4 Årendebeteckning(Diarie nr)

5	6	7 MI projekt nr
8 Projekt	9 MI rapport nr	
<input type="checkbox"/> 1 Uppläggning	<input type="checkbox"/> 2 Komplettering	<input checked="" type="checkbox"/> 3 Avslutat
10 Inrapportör	11 Kontrakt nr	12 Startår 1977
		13 Slutår 1977
15 Finansierande organ	14 MI projekt nr (i förek fall)	

Läs anvisningarna innan blanketten fylls in!  
Denna sida får kopieras!

Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning

16 Projektets/Rapportens titel och undertitel

Effekter av ozon på fotosyntes - respirations- och transpirationshastighet hos unga tallplantor

17 Projektledare/Rapportförfattare

Curt Bengtson, Stig Larsson, Lena Skärby

18 Sammanfattning av projektet/rapporten (ange gärna målsättning, metod, teknik resultat m m)  
Unga tallplantor (Pinus silvestris L.) exponerades för 0.2 ppm under 48 timmar. Fotosyntes, respiration och transpiration mättes därefter under en tid av 45 timmar, under vilken tallplantorna belystes fyra gånger i perioder om 2 timmar.

Två olika typer av exponeringskammare användes, den ena vid ozonexponering och den andra vid mätning av fotosyntes, respiration och transpiration.

Efter ozonbehandlingen reducerades fotosynteshastigheten till 80% av kontrollnivån. Respirationshastigheten reducerades till 65% och transpirationshastigheten reducerades till 70% av kontrollnivån. Däremot observerades inga synliga skador på barren.

Resultaten kan inte betraktas som oväntade då 0.20 ppm under 48 timmar får anses vara en typisk akutdos. Resultaten ger dock en viss uppfattning om tallplantornas känslighet för ozon, men de tillåter däremot inga vittgående slutsatser om var sig ozons effekter på tallplantor som växer i ozonbelastade områden eller vilken inverkan ozon har eller kan komma att få på skog i Sverige.

19 Sammanfattningen skriven av förf.

20 Föreslag till nyckelord

Ozon, fotosyntes, respiration, transpiration, tallplantor

21 Klassifikationssystem och klass

22 Indexterm

23 Bibliografiska uppgifter

Rapportens beteckning: B 417

24 ISSN

25 ISBN

26 Hemligt

1 paragraf

Nej

Ja, jämlikt

S sekretesslagen

27 Språk Svenska med eng. abstract

28 Antal sidor

17

29 Pris

30 Rapporten beställs hos

Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (IVL)  
Box 5207  
402 24 Göteborg

Effects of ozone on net photosynthesis-, respiration- and transpiration rate of Scots pine seedlings

Abstract

Scots pine (Pinus silvestris L.) seedlings were exposed to 0.20 ppm of ozone for 48 hours. Then the net photosynthesis, respiration and transpiration rate were measured during a period of totally 45 hours. Net photosynthesis was measured during four periods lasting for 2 hours. Two different chamber systems were used, one for the fumigation and one for measuring the gas exchange of the seedlings. After the ozone exposure the net photosynthesis rate was reduced to a level of 80 % of the controls. Respiration and transpiration rate were reduced to 65 % and 70 % of the controls, respectively. No damage on the foliage was noticed.

## Sammanfattning

Unga tallplantor (Pinus silvestris L.) exponerades för 0.2 ppm under 48 timmar. Fotosyntes, respiration och transpiration mättes därefter under en tid av 45 timmar, under vilken tallplantorna belystes fyra gånger i perioder om 2 timmar.

Två olika typer av exponeringskammare användes, den ena vid ozonexponering och den andra vid mätning av fotosyntes, respiration och transpiration.

Efter ozonbehandling reducerades fotosynteshastigheten till 80 % av kontrollnivån. Respirationshastigheten reducerades till 65 % och transpirationshastigheten reducerades till 70 % av kontrollnivån. Däremot observerades inga synliga skador på barren.

Resultaten kan inte betraktas som oväntade då 0.20 ppm under 48 timmar får anses vara en typisk akutdos. Resultaten ger dock en viss uppfattning om tallplantornas känslighet för ozon, men de tillåter däremot inga vittgående slutsatser om vare sig ozons effekter på tallplantor som växer i ozonbelastade områden eller vilken inverkan ozon har eller kan komma att få på skog i Sverige.

Effekten av ozonexponering på fotosyntes-, respirations- och transpirationshastighet hos unga tallplantor (*Pinus silvestris* L.)

Curt Bengtson, Stig Larsson, Lena Skärby

Inledning

Sedan 1972 har mätningar av ozonhalt i luft utförts på svenska västkusten. Vid dessa mätningar har halter över de normala bakgrundsnivåerna (0,01-0,05 ppm) visat sig uppträda episodvis sommartid. (Grennfelt 1976). Vid flera tillfällen varje sommar har halter över 0,10 ppm uppmätt och det högsta observerade entimmasmedelvärdet har varit 0,20 ppm. I Sverige finns för närvarande inget gränsvärde för ozonhalt i utomhusluft men i USA är gränsvärdet satt till 0,08 ppm (entimmasmedelvärde). Detta gränsvärde, som bl.a. baseras på studier av effekter av ozon på växtlighet, (Heggestad et al. 1974) har således vid flera tillfällen överskridits på svenska västkusten.

Vid fältförsök med ozonkänsliga tobaksplantor utplanterade på ett antal lokaler utefter västkusten har sådana skador observerats att det är sannolikt att effekter även kan uppträda på känsliga svenska nyttoväxter (Grennfelt 1977, Skärby 1977a, b).

Det finns en rad undersökningar som visar att ozon, som är ett kraftigt oxidationsmedel, har en stark fytotoxisk verkan. Man har bl.a. visat att ozon skadar växtcellers membranstruktur (Ting et al. 1974, Sutton och Ting 1977) och att ozon påverkar bl.a. metabolism och fotosyntes hos växter (Barnes 1972, Pell och Brennan 1972, Tingey et al. 1976). Man har också visat att känsligheten för ozon varierar mycket såväl inom samma art (Skelly och Kress 1977) som mellan olika arter (Davis och Wood 1972).

I USA har de årliga ekonomiska förlusterna orsakade av ozonskador på skogs- och jordbruksprodukter beräknats

uppgå till över 500 miljoner kronor (Benedict et al. 1971).

Föreliggande undersökning motiveras av de relativt höga ozonhalter som uppmäts på Sveriges västkust de senaste åren samt av vad som är känt beträffande effekter av ozon på nyttoväxter och vilda växter. Undersökningen utgör den första svenska studien av inverkan av ozon (koncentration 0,20 ppm) på fotosyntes, respiration och transpiration hos unga tallplantor.

#### Material och metoder

##### Plantmaterial:

Försöksmaterialet utgjordes av 18 veckor gamla tallplanter (Pinus silvestris L.) uppodlade i klimatkammare. Plantorna befann sig i ett utvecklingsstadium som motsvarade en ettårig planta som fått växa utomhus. Plantorna odlades från ett homogent frömaterial vilket erhållits efter en kontrollerad korsning. Plantorna odlades i kruka med kvartssand som substrat och denna bevattnades med svag jonlösning en gång per dag. Frömaterial och odlingsmetod finns ingående beskrivna av Andersson et al. (1977).

##### Ozonexponering av plantmaterialet:

Uppdelat på fyra olika tillfällen exponerades sammanlagt elva olika tallplantor för ozon. Som kontroll genomfördes dessutom två exponeringar med ozonfri luft omfattande sammanlagt sex planter. Tallplantorna exponerades för 0,20 ppm ozon under 48 timmar vid 24°C och 50 % relativ luftfuktighet samt med en ljusstyrka på  $50\text{Wm}^{-2}$ . Exponeringen med ozon utfördes med samma dygnsrytm som i odlingens sista fas (18 timmar dag och 6 timmar natt).

Ozon erhölls från en generator vars princip är baserad på sönderdelning av syre genom UV-bestrålning (McMillan 1000) och ozonkoncentrationen registrerades kontinuerligt (Dasibi).

En detaljerad beskrivning av exponeringssystemet har givits av Skärby (1978).

Mätning av gasutbyte:

Efter exponeringen flyttades plantorna i en isolerad behållare till ett system för mätning av gasutbyte, (fotosyntes, respiration och transpiration). Kyvettsystemet är tidigare beskrivet av Bengtson et al. (1977).

Gasutbytet mättes under en period av 45 timmar varvid tallplantorna belystes under 4 perioder om vardera cirka 2 timmar. Mätningarna utfördes vid en temperatur av 24°C samt en relativ luftfuktighet av 50 %. Fotosyntes och respiration mättes kontinuerligt med en CO<sub>2</sub>-analysator (IR-fotometer) UNOR 2, medan transpirationen bestämdes med hjälp av Vaisala fuktighetsmätare. Fotosynteshastigheten bestämdes från koldioxidutbytet under ljusperioderna, medan respirationshastigheten beräknades från koldioxidutbytet under de mellanliggande mörkerperioderna. Transpirationshastigheten beräknades från vattenavgivningen under både ljus- och mörkerperioderna.

## Resultat

Efter 48 timmars exponering för 0,20 ppm ozon uppvisade tallplantorna reduktion i såväl fotosyntes- och respirations- (fig. 1) som transpirationshastighet (fig. 2) jämfört med kontrollplantorna. Barren uppvisade inga synliga yttrre skador.

Fotosynteshastigheten hos de ozonbehandlade plantorna var ca 20 % lägre under de tre sista av de fyra ljusperioderna. Under den första ljusperioden var dock fotosynteshastigheten hos de ozoneexponerade plantorna lika stor som hos kontrollplantorna. Respirationshastigheten minskade ca 35 % jämfört med kontrollen och transpirationshastigheten med 30 %.

Kontrollplantornas transpirationshastighet var lägre under den första ljusperioden än under de tre övriga medan den var högst under den första ljusperioden hos de ozonexponerade plantorna.

## Diskussion

De tallplantor som exponerades för ozon uppvisade en minskning i fotosyntes-, respirations- och transpirationshastighet jämfört med kontrollplantorna. Exponering för 0,20 ppm ozon under 48 timmar måste betraktas som en akutdos. Ozonhalter av denna storleksordning kan dock förekomma på västkusten under kortare tidsperioder. I litteraturen finns liknande resultat från exponering för akuta halter av ozon rapporterade (Todd 1958, de Koning och Jegier 1968, Miller et al. 1969, Dugger och Ting 1970, Botkin et al. 1972, Pell och Brennan 1972).

Under den första ljusperioden avvek inte fotosyntes- och transpirationshastigheten hos de ozonexponerade plantorna signifikant från motsvarande hastighet hos kontrollplantorna. Orsaken är troligen att stomata delvis stängts i mörkret under den transport som var nödvändig mellan exponering för ozon och mätning av plantornas gasutbyte. Den konstanta fotosynteshastighet, som de ozonexponerade plantorna intog efter ca 160 minuter i varje ljusperiod var under de tre sista av de fyra ljusperioderna ca 20 % lägre än kontrollplantornas. Reducerad fotosyntes hos unga tallplantor men även hos äldre tallar som exponerats för ozon finns tidigare publicerat (Barnes 1972, Botkin et al. 1972). Det är dock fortfarande oklart vilka mekanismer som ligger bakom den reduktion i nettofotosynteshastighet som ozon orsakat.

Om stomata är helt eller nästan helt öppna anses enzymaktiviteten vara begränsande för fotosynteshastigheten (Gaastra 1959). Vid konstanta yttre betingelser regleras däremot transpirationen endast av stomatas öppningsgrad. (Gaastra 1959, Raschke 1976). Av ovanstående följer att en begränsad reduktion i stomatas öppningsgrad ger en större nedgång i transpirationshastighet än i fotosynteshastighet (Raschke 1976). Resultaten visar att transpirationshastigheten reducerades med 35 % medan fotosynteshastigheten reducerades med 20 % som en följd av ozonexponeringen. Eftersom en effekt även på koldioxidfixerande enzymer borde givit en kraftigare nedgång i fotosynteshastighet än vad som var fallet orsakades denna nedgång säkerligen främst av en partiell stomastängning. Evans och Ting (1974) studerade vatteninnehållet i växter som exponerades för ozon och fann att det relativa vatteninnehållet i bladen minskade drastiskt efter exponeringen. Författarna förklrar detta med att många pallissad- och epidermisceller förstörs. Följden blir att bladens turgiditet minskar i hela bladen vilket medför en stängning av stomta. Om vatteninnehållet i tallplantornas barr hade minskat kraftigt skulle detta ha observerats genom att barren vikt sig neråt. Detta skedde inte, vilket innebär att ozon vid de utförda mätningarna påverkade stomata på annat sätt än via en turgiditets-sänkning i hela barren.

Reduktionen i transpirationshastighet var minst under den första ljusperioden. Detta tyder på att antingen har benägenheten till stomatastängning i mörker (under transporten) från ozonbehandling till gasmätningsapparaturen minskat eller också förvärras ozonets skadliga inverkan på stomataaktiviteten med tiden. En kombination av båda är också möjlig. Det är dock inte möjligt att på detta stadium fastställa hur ozon interfererar med stomata.

Respirationshastigheten hos de ozoneexponerade tallplantorna var 30 % lägre än kontrollen. I direkt motsatsställning till dessa resultat har en ökning i respiration efter ozonexponering observerats (Todd 1958, Barnes 1972). Ofta har emellertid denna stimulering uppträtt först i samband med synliga bladskador. Innan skador uppträtt har bl.a. Macdowall (1965) rapporterat en inhibering av respirationen, såväl som fotosyntes och oxidativ fosforylering, hos tobaksplantor som exponerats för 0,60 ppm under en timme. I tobaksblad som exponerats för 1 ppm mellan 1 och 5 timmar fann Lee (1967) en minskad respiration och en minskad oxidativ fosforylering i mitokondrierna.

Föreliggande undersökning tillåter naturligtvis inga slutsatser om t.ex. vilka effekter ozon för närvarande har eller kommer att få på skog i Sverige. Resultaten antyder dock att friväxande unga tallplantor kan påverkas negativt av den exponering för ozon som de utsätts för i Sverige.

Det kan slutligen vara lämpligt att helt kort nämna något om den forskning som bedrivs på området i USA där skogarna, speciellt i nordöstra och i östra USA samt i Californien, är utsatta för fotokemiska oxidanter. Problemet har där angripits på i princip tre olika sätt:

- 1) fältundersökningar där man dels påvisat uppenbara skador på barrträd och långsamma förändringar i tillväxt, dels förändringar i artsammansättning (Dochinger 1968, Cobb och Stark 1970, Miller och Yoshiyama 1973, McBride et al.).

1975, Kress och Skelly 1977, Skelly et al. 1977)

2) studium av känslighet för ozon hos olika trädarter  
(Berry 1971, Thorne och Hanson 1972, Davis och Wood  
1973a, b, Davis och Coppolino 1974).

3) selektion och förädling av ozontoleranta arter (Ryder  
1973, Davis och Gerhold 1976).

REFERENSER

- Andersson, L-Å. et al. (1977). Cultivation of pine and spruce seedlings in climate chambers. Technical report 5. Swedish Coniferous Forest Project.
- Barnes, R. (1972). Effects of chronic exposure of ozone on photosynthesis and respiration of pines. Environ. Pollut. 3: 133-138.
- Benedict, H.M. et al. (1971). Economic impact of air pollutants on plants in the United States. Standford Research Institute. Final Report.
- Bengtson, C., Falk, S.O. och Larsson, S. (1977). The after-effect of water stress on transpiration rate and changes in abscisic acid content of young wheat plants. Physiol. Plant. 41: 149-154.
- Berry, C.R. (1971). Relative sensitivity of Red, Jack and White Pine Seedlings to ozone and sulfur dioxide. Phytopathology, 61: 231-233.
- Botkin, D.B. et al. (1972). Effects of ozone on white pine saplings: variation in inhibition and recovery of net photosynthesis. Environ. Pollut. 3: 273-289.
- Cobb, F. och Stark, R.W. (1970). Decline and mortality of smog-injured Ponderosa Pine. Journal of Forestry, 68: 147-149.
- Davis, D.D. och Wood, F.A. (1972). The relative susceptibility of eighteen coniferous species to ozone. Phytopathology, Vol. 62, 14-19.

- Davis, D.D. och Coppolino, J.B. (1974). Relationship between age and ozone sensitivity of current needles of Ponderosa Pine Plant Disease Reporter, 58 (7): 660-663.
- "- och Gerhold, H.D. (1976). Selection of trees for tolerance of air pollutants. Better trees for metropolitan landscapes. Symposium Proceedings USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rep. NE-22.
- "- och Wood, F.A. (1973a). The influence of environmental factors on the sensitivity of Virginia Pine to ozone. *Phytopathology*, 63 (3): 371-376.
- "- -"- (1973b). The influence of plant age on the sensitivity of Virginia Pine to ozone. *Phytopathology*, 63 (3): 381-388.
- Dochinger, L.S. (1968). The impact of air pollution on Eastern White Pine: the chlorotic dwarf disease. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 18: 814-816.
- Dugger, W.M. and Ting, I.P. (1970). Air pollution oxidants — their effects on metabolic processes in plants. *A. Rev. Pl. Physiol.* 21, 215-234.
- Evans, L.A. och Ting, I.P. (1974). Ozone sensitivity of leaves: Relationship to leaf water content, gas transfer resistance and anatomical characteristics. *Amer. J. Bot.* 61, 592-597.
- . Gaastra, P. (1959). Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. *Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen*. 59: 1-68.

Grennfelt, P. (1976). Ozone episodes on the Swedish west coast. Proc. int. conf. on photochemical oxidant pollution and its control. Raleigh NC 12-17 sept. 1976. 329-337.

-"- (1977). 4 Smutsig luft från Kontinenten ger hög ozonhalt i Sverige. Forskning och Framsteg pp. 80-81.

Heggestad, H. et al. (1974). Acceptable limits for ozone doses and vegetation effects. Originally paper 74-224, presented at the Control Association, Denver, Colorado.

de Koning, H.W. och Jegier, Z. (1968). A study of the effects of ozone and sulfur dioxide on the photosynthesis and respiration of *Euglena gracilis*. Arch. and Environ. Vol. 2: 321-326.

Kress, L.W. och Skelly, J.M. (1977). The interaction of  $O_3$ ,  $SO_2$  and  $NO_2$  and its effect on the growth of two forest tree species. Proc. Am. Phytopath. Soc. 4: (abstract, in press).

Lee, T.T. (1967). Inhibition of oxidative phosphorylation and respiration by ozone in tobacco mitochondria. Plant Physiol. 42: 691-696.

Macdowall, F.D. (1965). Stages of ozone damage to respiration to tobacco leaves. Can. J. Bot. 43: 419-427.

McBride, J.R. et al. (1975). Impact of air pollution on the growth of Ponderosa Pine. California Agriculture 29 (12): 8-9.

Miller, P.R. et al. (1969). Ozone dosage response of ponderosa pine seedlings. J. Air Pollut. Contr. Ass. 19, 435-438.

--" och Yoshiyama, R.M. (1973). Self-ventilated chambers for identification of oxidant damage to vegetation at remote sites. Environ. Sci. & Tech. Vol. 7: 66-68.

Pell, E. och Brennan, E. (1972). Changes in respiration, photosynthesis, adenosine, 5'-triphosphate and total adenylate content of ozonated pinto bean foliage as they relate to symptom expression. Plant Physiol. 51: 378-381.

Raschke, K. (1976). How stomata resolve the dilemma of opposing priorities. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 273: 551-560.

Ryder, E.J. (1973). Selecting and breeding plants for increased resistance to air pollutants. Advances in chemistry series 122. Air Pollution Damage to Vegetation (ed. Naegele, J.A.): 75-84.

Skelly, J.M. och Kress, L.W. (1977). Relative sensitivity of eighteen hybrid combinations of Pinus tadea L. to ozone. Proc. Am. Phytopath. Soc. 4: (abstract, in press).

--" et al. (1977). Oxidant levels in remote mountainous areas of southwestern Virginia and their effects on native White Pine (Pinus strobus L.) Proc. Am. Phytopath. Soc. 4: (abstract, in press).

Skärby, L. (1977a). Studier av ozonförekomst på svenska västkusten med användande av indikatorväxter. En pilotundersökning. IVL B-publikation B 348.

-"- (1977b). 4. Ozon skadar växter. Forskning och Framsteg, pp. 77-80.

-"- (1978). Fumigation chambers for exposing plants to air pollutants and their postulated uses. IVL B-publikation B 429. (In prep.).

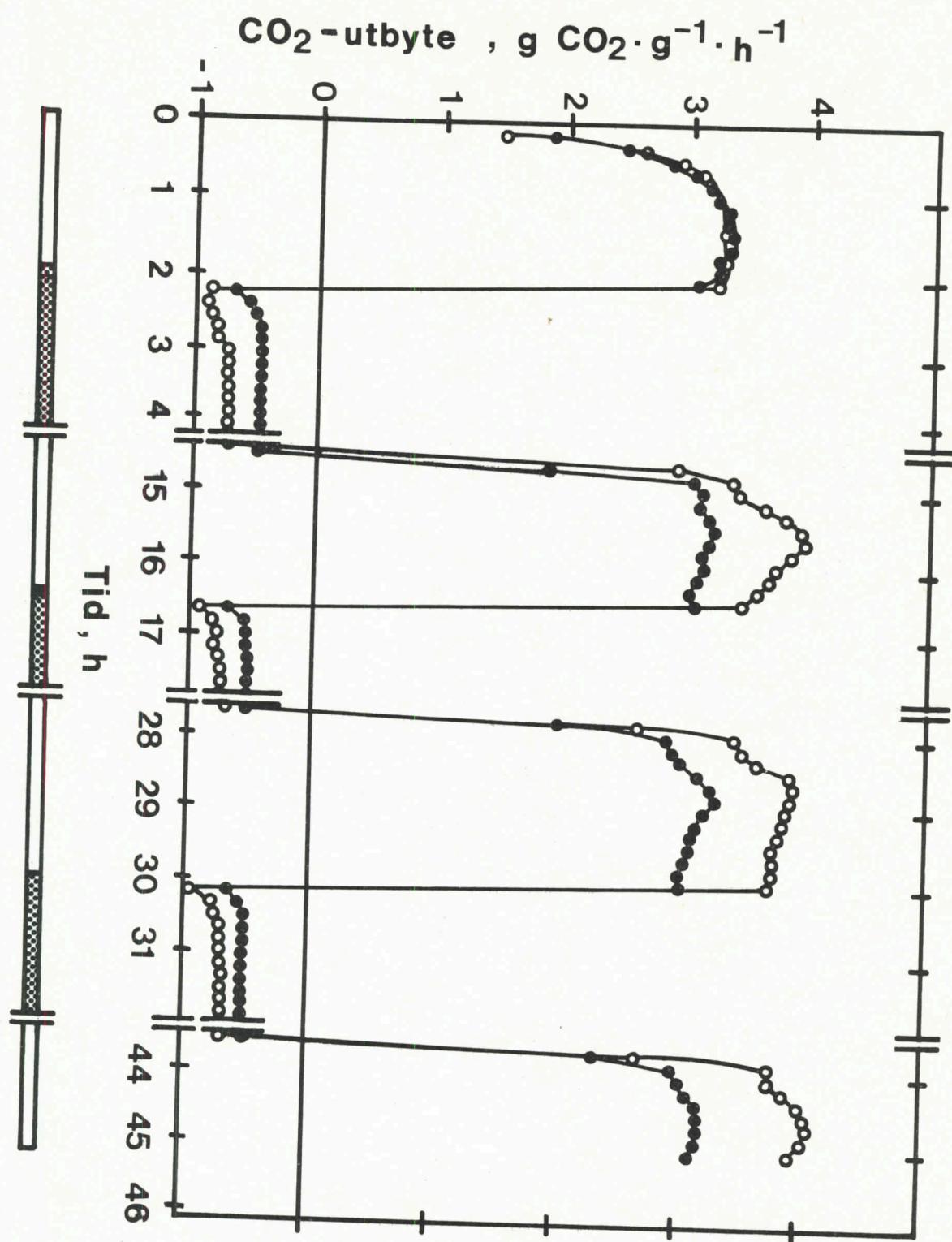
Sutton, R. och Ting, I.P. (1977). Evidence for repair of ozone induced membrane injury: alteration in sugar uptake. Atm. Environ. 11, 273-275.

Thorne, L. och Hanson, G.P. (1972). Species differences in rates of vegetal ozone absorption. Environ. Pollut. 3: 303-312.

Ting, I.P. et al. (1974). Effects of ozone on plant cell membrane permeability. ACS Symposium Series, Number 3, 8-21. Air Pollution Effects on Plant Growth (ed. Dugger, W.M.).

Tingey, D.T. et al. (1976). The effect of chronic ozone exposures on the metabolic content of Ponderosa Pine seedlings. Forest Science, 22 (3), 234-241.

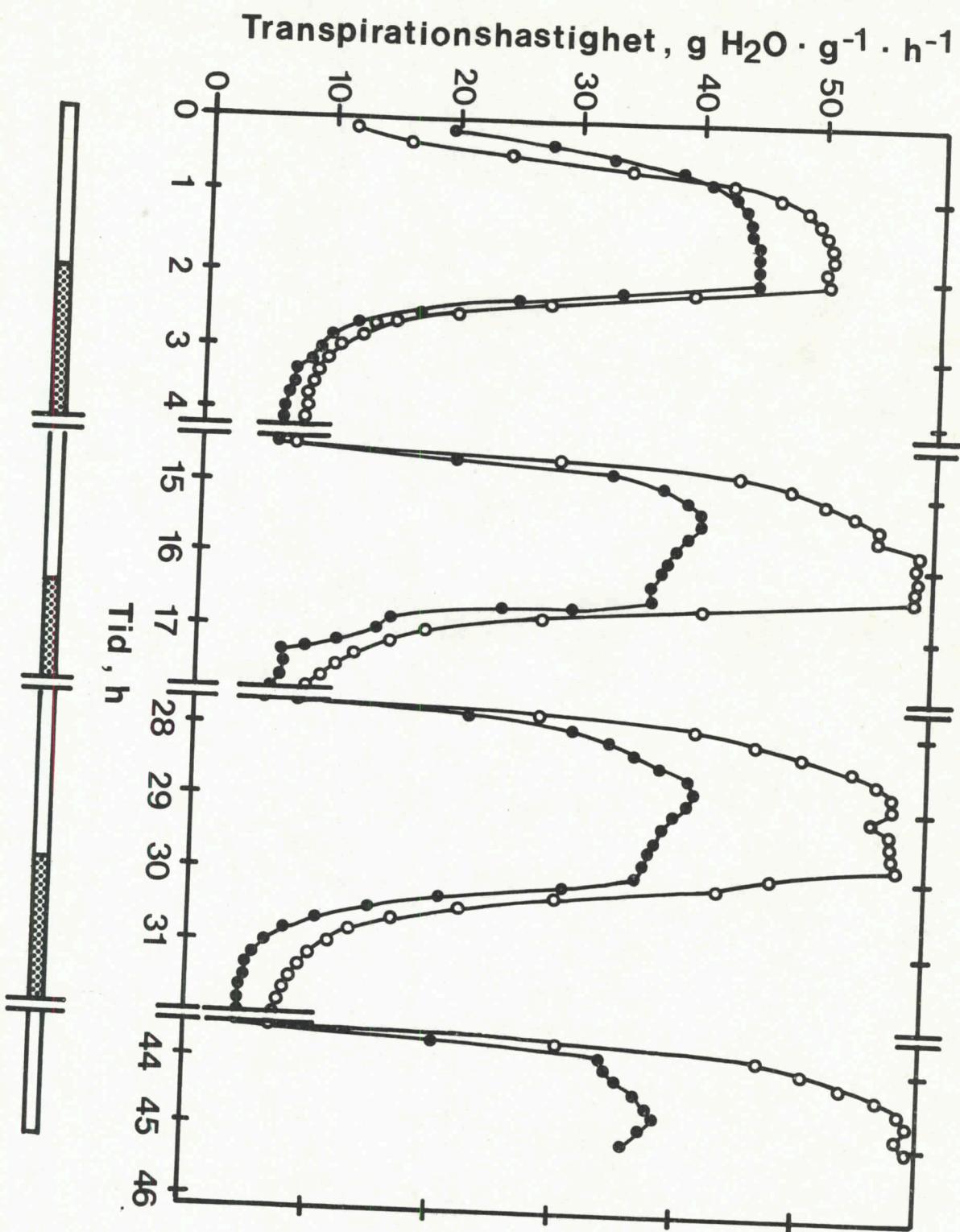
Todd, G.W. (1958). Effect of ozone and ozonated 1-hexene on respiration and photosynthesis of leaves. Plant Physiol. 33, 416-420.



Figur 1 Fotosyntes- och respirationshastighet hos ozonexponerade tallplantor

De ozonexponerade plantorna (●) representeras av medelvärdet från 11 st plantor från 4 upprepningar. Kontrollen (○) utgörs av 6 st plantor vilka exponeras för ozonfri luft vid 2 olika tillfällen i grupper om 3 st.

På tidsaxeln finns ljus (◻)- och mörkerperioderna (■) inlagda.



Figur 2 Transpirationshastighet hos ozonexponerade tallplanter

Se Fig. 1.