

Inledande försök till mätning av H₂O
med två olika Raman-Lidar-system

Jan Bleckert

Examensarbete vid Institutionen för
Fysik vid Lunds Tekniska Högskola

Lund Reports on Atomic Physics
LRAP-50

(1985)

INNEHÅLL

	sida
1. Förord	4
2. Inledning	5
3. Lidar-teknikens princip	5
4. Spridningsprocesser	7
4.1 Rayleigh-spridning	7
4.2 Mie-spridning	8
4.3 Absorption och fluorescens	9
4.4 Raman-spridning	9
5. Raman-Lidar	11
6. Dial-Lidar	12
7. Jämförelse mellan Raman-Lidar och Dial-Lidar	12
8. Nd:YAG-lasern	13
9. Excimer-lasern	14
10. Experiment	14
10.1 Mätningar med YAG-laser	14
10.1.1 Mätuppställning	14
10.1.2 Mätningar i mörker	16
10.2 Mätningar med Excimer-laser	26
10.2.1 Mätuppställning	26
10.2.2 Mätningar i mörker	29
10.2.3 Mätningar i dagsljus	29
11. Sammanfattning	35
12. Referenser	37

1

Förord

Föreliggande examensarbete genomfördes under vintern/våren 1984/85 vid Institutionen för Atomfysik vid Tekniska Högskolan i Lund.

Avsikten var att jämföra mätningar av atmosfärisk vattenånga med två olika Raman-Lidar-system. Det ena systemet baserades på en Nd:YAG-laser, det andra en Excimer-laser. Av skäl som kommer att framgå uppnåddes inte målsättningen riktigt och arbetet bör därför betraktas som en inledande undersökning.

Jag vill gärna tacka professor Sune Svanberg, Hans Edner samt övriga på institutionen för Atomfysik som gjort det möjligt att genomföra detta arbete.

Lund i juni 1985

Jan Bleckert

2 Inledning

Sedan lasern uppfanns av Maiman omkring 1960 har den fått en ständigt växande mängd tillämpningar inom fysiken, medicinen, industrin och många andra områden. Fjärranalys, "remote sensing", är ett spännande verktyg för studier av atmosfären där lasern utnyttjas. Inte bara atmosfärens struktur och dynamik kan undersökas utan även luftföroreningar och meteorologi kan studeras med denna teknik(ref.[1-3]).

Avståndsupplöst fjärranalys, där man låter korta pulser av laserljus spridas mot atmosfärens beståndsdelar och därefter detekteras, kallas för LIDAR (Light Detection And Ranging).

I detta examensarbete görs inledande försök att mäta vertikala vattenånga-profiler med hjälp av Raman-spridning. Två uppställningar studeras; den ena med en Nd:YAG-laser som ljuskälla, den andra en Excimer-laser. Jag diskuterar även skillnader mellan Raman-Lidar och en annan typ som kallas DIAL (Differential Absorption Lidar).

3 Lidar-teknikens princip

Lidar kan närmast beskrivas som den optiska motsvarigheten till radar, där radiovågor sänds ut och olika typer av reflektioner detekteras. Lidar-principen kan beskådas i figur 1. En väl samlad ljusstråle från en pulsad laser sänds ut i atmosfären. Det bakåtspridda ljuset från atmosfärens beståndsdelar och eventuella topografiska hinder samlas ihop med ett teleskop.

Det bakåtspridda ljuset från avståndet R detekteras vid tiden

$$t = \frac{2R}{c} \quad (1)$$

efter det att laserpulsen sänts iväg.

Den mottagna ljuseffekten från avståndintervallet ΔR kan uttryckas matematiskt i den sk LIDAR-ekvationen (The General Lidar Equation)

$$P(\lambda_1, R, \Delta R) = C W(\lambda_0) \Sigma_B \sigma_B N_B(R) \frac{\Delta R}{R^2} \exp\left[-\int_0^R (\sigma_A(\lambda_0) + \sigma_A(\lambda_1)) N_A(r) + \int_0^R (\sigma_C(\lambda_0) + \sigma_C(\lambda_1)) N_C(r) dr\right] \quad (2)$$

λ_1 är det detekterade ljusets våglängd
 λ_0 är laserns våglängd
 $W(\lambda_0)$ är utsänd lasereffekt
 σ_B är tvärsnittet för berörd spridningsprocess
 N_B är antalet spridare per volymsenhet

Den första delen av dämpfaktorn härrör från molekylär absorption längs ljusets väg.

$\sigma_A(\lambda_0)$ är tvärsnittet för molekylär absorption vid laservåglängden
 $\sigma_A(\lambda_1)$ är dito vid detekterad våglängd
 N_A är antal absorberande molekyler per volymsenhet

Den andra delen av dämpfaktorn härrör från absorption av partiklar samt dämpning pga Mie- och Rayleigh-spridning med motsvarande beteckningar.

$1/R^2$ - faktorn återspeglar minskningen av den rymdvinkel teleskopet upptar med växande avstånd R.

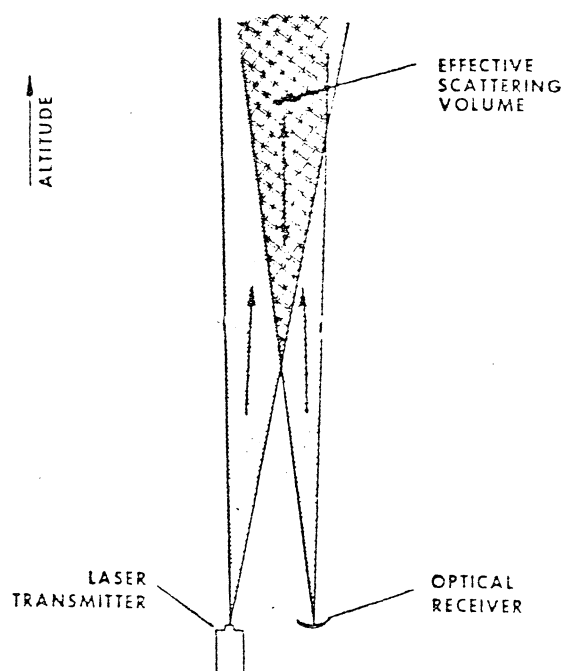
Summering över olika slag av partiklar ingår också i ekvationen.

Avståndsupplösningen ΔR bestäms av systemets effektiva tidsupplösning τ , som i sin tur bestäms av laserpulsens varaktighet och detektorns integrationstid

$$\Delta R = \frac{c \tau}{2} \quad (3)$$

där c är ljushastigheten.

Vi kommer senare att se att Lidar-ekvationen kan förenklas beroende på vilken teknik som används.



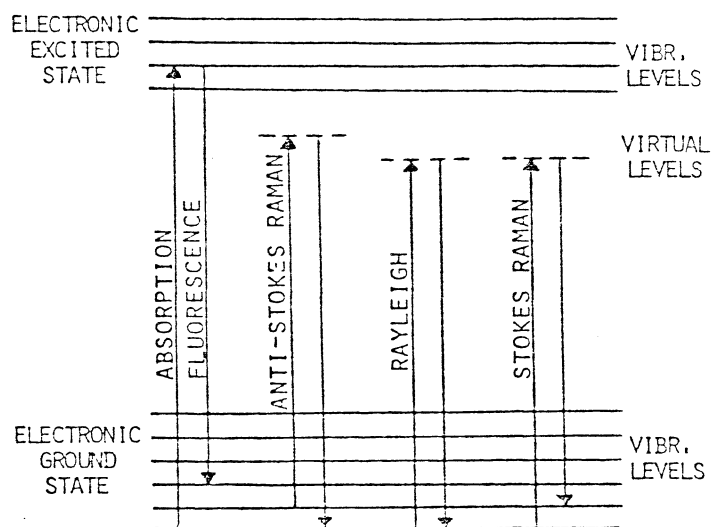
Figur 1. Geometrin hos ett Lidar-system (ref.[9])

4 Spridningsprocesser

I Lidar-tekniken utnyttjar man det faktum att ljus växelverkar med molekyler och partiklar i olika typer av spridningsprocesser, vilka även innefattar absorption-fluorescens (ref.[4]). De molekylära spridningsprocesserna kan studeras i figur 2.

4.1 Rayleigh-spridning

Den elastiska Rayleigh-spridningen beskrivs klassiskt som dipolstrålning. Molekylen betraktas som en dipol vilken induceras att svänga med samma frekvens som det infallande ljusets. En kvantmekanisk bild får man genom att lägga in en virtuell energinivå som i figur 2.



Figur 2. En kvantmekanisk bild av de molekylära spridningsprocesserna (ref.[3])

Tvårsnittet för Rayleigh-spridning beror på våglängden enligt

$$\sigma(\lambda) \propto \frac{1}{\lambda^4} \quad (4)$$

Effekten blir alltså starkare ju högre frekvens ljuset har.

4.2 Mie-spridning

När ljus sprids mot partiklar, dvs då de spridande objektens storlek är jämförbara med eller större än ljusets våglängd, kallas processen för Mie-spridning. Tvårsnittet är en komplicerad funktion av partiklarnas storlek, utseende och brytningsindex.

Våglängdsberoendet är mindre än vid Rayleigh-spridning

$$\sigma(\lambda) \propto \frac{1}{\lambda^2} \quad (5)$$

Mie-spridningen är vanligtvis mer betydande än Rayleigh-spridningen och siktförhållandena avgörs ofta av denna typ av spridning.

Elastisk spridning ger upphov till flera välkända fenomen tex blå himmel, röda solnedgångar och regnbågar.

4.3 Absorption och fluorescens

Excitation av en molekyl till en högre energinivå sker i en resonans-absorptions-process. De exciterade tillstånden lever typiskt några nanosekunder innan en fluorescerande övergång till grundtillståndet eller något annat lägre tillstånd sker. Vid atmosfärstryck sker dock oftast deexcitation i icke-strålände övergångar pga kollisionsprocesser ("quenching").

4.4 Raman-spridning

Även om det infallande ljuset inte har resonant frekvens sker ändå en inelastisk spridningsprocess, den sk Raman-spridningen. Effekten observerades första gången i slutet på 1920-talet av indiern C.V. Raman (ref.[5]) och I. Mandelstam från Sovjet (ref.[6]).

Det mest typiska för Raman-fenomenet är att det spridda ljuset skiftas i frekvens relativt det infallande ljusets. Frekvensskiftet är unikt för det spridande materialet och ger därför upphov till en unik molekylär signatur. En annan viktig egenskap är dess tvärsnitt. Det är nämligen mycket lägre än för absorptionsprocessen och cirka 1000 ggr lägre än för Rayleigh-spridningen (se tabell 1).

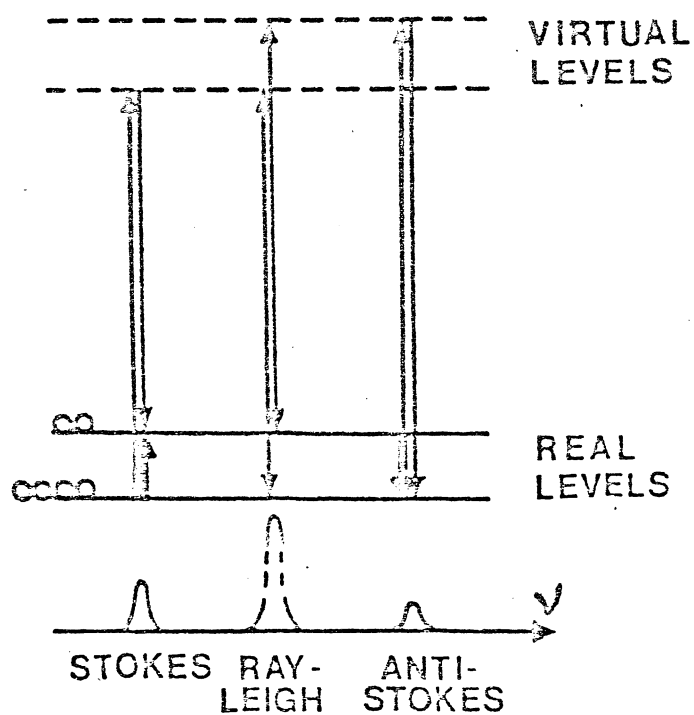
Raman-effekten kan tolkas som en koppling mellan det infallande ljusets polariserande strålningsfält och molekylens vibrations/rotationsrörelse. Tex en Raman-spridd "Stokes"-linje har lägre energi än det infallande ljusets vilket beror på att molekylerna intar ett högre vibrationstillstånd än tidigare och på så sätt "stjäl" energi från strålningsfältet. Se figur 2 o. 3.

Raman-tvärsnittet har samma våglängdsberoende som Rayleigh-spridningen (4) och effekten blir alltså starkare vid kortare våglängder.

I tabell 2. finns några vanligt förekommande gaser i atmosfären beskrivna vad gäller Raman-skift, relativ förekomst och relativa tvärsnitt.

<u>Process</u>	<u>Cross section</u> ($\text{cm}^2/\text{steradian}$)
Mie	10^{-27} to 10^{-8}
Fluorescence (absorption)	10^{-16} or less
Resonance Raman	10^{-23}
Rayleigh	10^{-27}
Raman	10^{-29} to 10^{-30}

Tabell 1. Tvärsnitt för olika spridningsprocesser (ref.[9])



Figur 3. Raman-effekten (ref.[4])

<u>Molecule</u>	<u>Line assignment</u>	<u>Atmospheric fraction (ppm)</u>	<u>Cross section molecule relative to N₂ Q-branch</u>
N ₂	2331 cm ⁻¹	0.78×10 ⁶	1.0
O ₂	1555 cm ⁻¹	0.2×10 ⁶	1.1
H ₂ O	3652 cm ⁻¹	10 ³	4.5
CO ₂	1285 cm ⁻¹	330	0.74
CO ₂	1388 cm ⁻¹	330	1.1
H ₂	4156 cm ⁻¹	1.0	4.0
CH ₄	2917 cm ⁻¹	1.0	8.0
O ₃	1103 cm ⁻¹	0.1	3.0

$$\sigma(5000 \text{ \AA, Q-branch } N_{14}-N_{14}) = 6.19 \times 10^{-30} \text{ cm}^2$$

Tabell 2. Raman-data för de vanligast förekommande gaserna i atmosfären (ref.[9])

5

Raman-Lidar

I ett Lidar-system som bygger på Raman-effekten använder man sig av en fix-frekvenslaser och ett detektorsystem som mäter det Raman-skiftade ljuset samtidigt som det elastiskt spridda ljuset undertrycks. Eftersom Raman-skiftet är molekyl-specifikt kan denna teknik användas för att studera vilken molekylär gas som helst. Emellertid är Raman-tvårsnittet som nämnts tidigare mycket lågt och användningen begränsas till högeffektlasrar och gaser med hög koncentration.

Mätningar av vattenånga sker genom att normalisera H₂O-signalen mot N₂- eller O₂-signalen enligt

$$\alpha = \frac{P(\lambda_{H_2O}, R, \Delta R)}{P(\lambda_{N_2}, R, \Delta R)} \cdot \frac{N_{N_2}(R)}{N_{H_2O}(R)} \cdot \frac{q(\lambda_{H_2O}, R)}{q(\lambda_{N_2}, R)} \quad (6)$$

där q är den atmosfäriska dämpfaktorn.

Upp till ca 3 km höjd och vid goda siktförhållanden är dämpfaktorerna praktiskt taget lika (ref.[7]). I detta fall är förhållandet mellan H₂O- och N₂-signalerna direkt proportionellt mot förhållandet mellan deras koncentrationer. Kvävet koncentration i atmosfären är välkänd och proportionalitetskonstanten kan bestämmas genom kalibrering.

6

Dial-Lidar

Dial står för Differential absorption lidar. I denna teknik använder man sig av en avstämbar laser som skickar ut ljuspulser på två närliggande våglängder där absorptionen varierar kraftigt, tex på och strax utanför en absorptionslinje. Elastisk spridning och partikel-absorption varierar betydligt långsammare med våglängden och kommer att vara praktiskt taget lika för de båda ljuspulserna. Genom att jämföra de båda elastiskt spridda signalerna får man reda på absorptionen och med kunskap om absorptionstvärsnitt kan man räkna ut koncentrationen av absorberande molekyler.

Dial-ekvationen får man genom att dividera lidar-ekvationerna för de båda våglängderna enligt (7).

$$\frac{P(\lambda_1, R)}{P(\lambda_2, R)} = \frac{C(\lambda_1)}{C(\lambda_2)} \exp[-2 \int_0^R (\sigma_A(\lambda_1) - \sigma_A(\lambda_2)) N_A(r) dr] \quad (7)$$

Medelvärde av gaskoncentrationen i något avståndsintervall $R_2 - R_1$ ges av (8).

$$N_A = \frac{1}{2} \cdot (R_2 - R_1)^{-1} (\sigma_A(\lambda_1) - \sigma_A(\lambda_2))^{-1} \ln \left[\frac{P(\lambda_1, R_1)/P(\lambda_2, R_1)}{P(\lambda_1, R_2)/P(\lambda_2, R_2)} \right] \quad (8)$$

Exempel på ett Dial-lidar system för mätning av vattenånga beskrivs i ref.[8].

6

Jämförelse mellan Raman-lidar och Dial

I en artikel av Cooney (ref.[9]) görs bl a en jämförelse mellan Raman-lidar- och Dial-tekniken. Generellt sett betraktas Dial som en känsligare metod. Som vi har sett bygger Dial på detektering av två elastiskt spridda signaler där den ena är mer dämpad pga absorption. I det synliga spektret är dessa 2-4 storleksordningar starkare än motsvarande Raman-signaler.

Vad gäller mätningar av atmosfärens huvudbeståndsdelar och vattenånga har dock de båda metoderna visat sig relativt likvärdiga. De kan båda ges en optimal funktion beroende på vilken avsikt man har med mätningarna och under vilka förhållanden de utförs.

Eventuella skillnader i prestanda bör ses i relation till följande två viktiga skillnader.

1. I motsats till Dial kan det bästa Raman-lidar-systemet konstrueras efter mycket enkla principer. Tex behövs inga speciella krav på lasern vad gäller avstämbarhet och linjebredd.
2. För att hantera Dial behövs olika parametrar för olika atmosfäriska förhållanden för att uppnå optimalt signal/brusförhållande. Detta kräver kännedom om dämpning och bakåtspridning vid mättillfället.

Sammanfattningsvis är Raman-lidar alltså ett enkelt instrument att konstruera, underhålla och handha och i flera situationer ett mindre kostsamt sätt att samla in i stort sett samma data.

8

Nd:YAG-lasern

Nd:YAG-lasern är en sk 4-nivå laser där Nd^{3+} -joner inkorporerats i en yttrium-aluminium-kristall av granatädelstenstyp (Yttrium-Aluminium-Garnet). Populationsinversion erhålles genom pumpning av blixtlampor.

Nd:YAG-lasrar med höga pulsenergier konstrueras med ett oscillatorsteg följt av ett eller flera förstärkarsteg. Detta är en vanlig metod i lasersammanhang. Oscillatorn konstrueras för låg energi vilket gör det möjligt att ha god kontroll av frekvensskärpa, pulslängd och modstruktur. En efterföljande förstärkare med samma lasermedium populationsinverterat höjer utenergin i pulsen vid dess passage utan kvalitetsegenskaperna försämras. Se även ref. [10].

YAG-lasern jag använde vid mina mätningar var av fabrikat QUANTARAY och arbetar i IR på $1.06 \mu\text{m}$ och ger där en pulsenergi på 1 Joule och en repetitions hastighet på 10 Hz. Jättepulser genereras i en Q-switch av Pochel-cell-typ och ger pulslängder på 10 ns. Ljuset har låg divergens, omkring 1 mrad.

9 Excimer-lasern

Excimer-lasern tillhör gruppen pulssade gaslasrar, där det lasrande mediet består av sk excimer-molekyler. Dessa molekyler karaktäriseras av att de saknar stabila grundtillstånd och kan därför bara existera i kortlivade exciterade tillstånd. I Excimer-lasrar används oftast ädelgas-halider av typ KrF och XeCl. Dessa molekyler alstras av en kortvarig elektrisk urladdning i en blandning av ädelgasen och F₂ eller Cl₂. De sistnämnda gaserna är mycket reaktiva och giftiga², vilket gör att materialval och gashantering blir kritisk för denna typ av laser. Se även här ref.[10].

Excimer-lasern kännetecknas av höga pulsenergier i UV-området, relativt bred emission (~ 50Å) samt relativt hög divergens. Den höga divergensen beror på lasermediets mycket höga förstärkning.

Vid mina försök använde jag en excimer-laser av fabrikat LAMBAPHYSIK. Excimern XeCl ger pulsenergier på 100-150 mJ vid 308 nm. Divergensen är 4 * 8 mrad och pulslängden omkring 15 ns. Under mätperioden "misstänkt" lasern vid högre repetitionsfrekvenser och därför använde jag inte högre frekvenser än 10 Hz.

10 Experiment

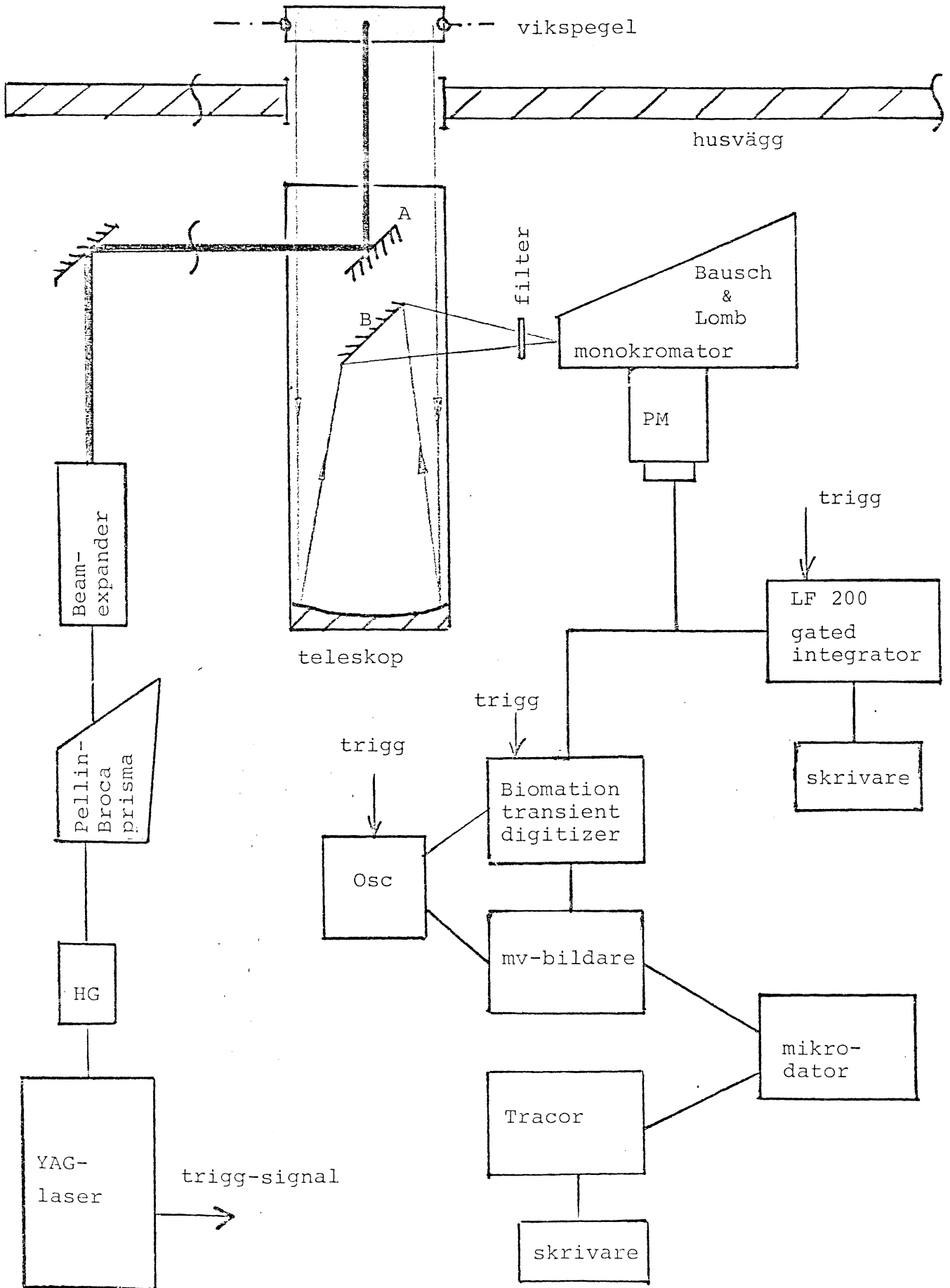
10.1 Mätningar med Nd:YAG-laser

Mätningar utfördes under några veckor i december 1984. Vädret var mycket bistert; vid klara nätter sjönk temperaturen ned mot -30^o C. Vid dessa temperaturer är vattnets mättningsångtryck mycket lågt och förekomsten mycket liten.

10.1.1 Mätuppställning

I figur 4. kan mätuppställningen studeras.

Nd:YAG-laserns linje på 1.06 µm tredubblas i frekvens av en harmonisk generator till 355 nm i UV-området. Skälet till detta är främst, som nämnts tidigare, att Raman-effekten är mycket kraftigare vid korta våglängder. Dessutom har UV andra fördelar, det är betydligt mindre farligt för ögonen än både IR och den frekvensdubblade gröna linjen, himmelsbakgrunden är lägre i UV och det är brist på bra IR- detektorer.



Figur 4. Uppställning med Nd:YAG-laser

Pellin-Broca-prismat separerar IR och det dubblade gröna ljuset från UV-linjen och oskadliggör dem genom att låta dem absorberas i en behållare fylld med en absorberande vätska. Efter prismet uppmättes effekten till ca 80 mJ för UV-linjen.

Genomskärningsarean på ljusfläcken är liten och därmed blir effekttätheten mycket hög. För att undvika att ytskiktsspeglarna "bränns" gör vi strålen större mha en beam-expander. Trots att beam-expandern innehåller kvartslinser förlorades ca 50 % av pulsenergin här.

Via två speglar träffar laserljuset en vikbar spegel utanför fönstret och strålen riktas vertikalt. Reflektionerna i de tre speglarna ger upphov till ytterligare förluster och ca 25 mJ återstår nu av pulsenergin.

Det bakåtspridda ljuset samlas via vikspegeln ihop med ett teleskop med 1 meters brännvidd och ca 1 mrad divergens. Primärspegeln har 30 cm diameter och via sekundärspegeln B fokuseras ljuset på ingångsspalten på en Bausch and Lomb monokromator. Vid mätningar av Raman-signalen undertrycks den elastiska signalen med ett 3 mm WG 375 cut-off filter.

Ljuset omvandlas därefter till elektrisk ström av en högkänslig fotomultiplikator EMI 9558QB (max spänning 1630 V).

Transienterna kan antingen registreras med en LAMBDA PHYSIK LF 200 gated integrator eller med en BIOMATION transient digitizer. Till digitizern hör en medelvärdesbildare tillverkad på institutionen där transienter summeras för att förbättra signal/brus-förhållandet.

En mikrodator sköter läsning av data från medelvärdesbildaren och lagrar dem på diskett. Datorn kan sedan skicka data för display på en TRACOR med tillhörande plotter.

10.1.2 Mätningar i mörker

För att få överlapp mellan laserstrålen och teleskopets synfält justeras spegel A och B. I diagram 1. kan man se den elastiska signalen. Lagg märke till Lidar-signalens karaktäristiska $1/R^2$ - beroende.

relativ bakåtspridd intensitet

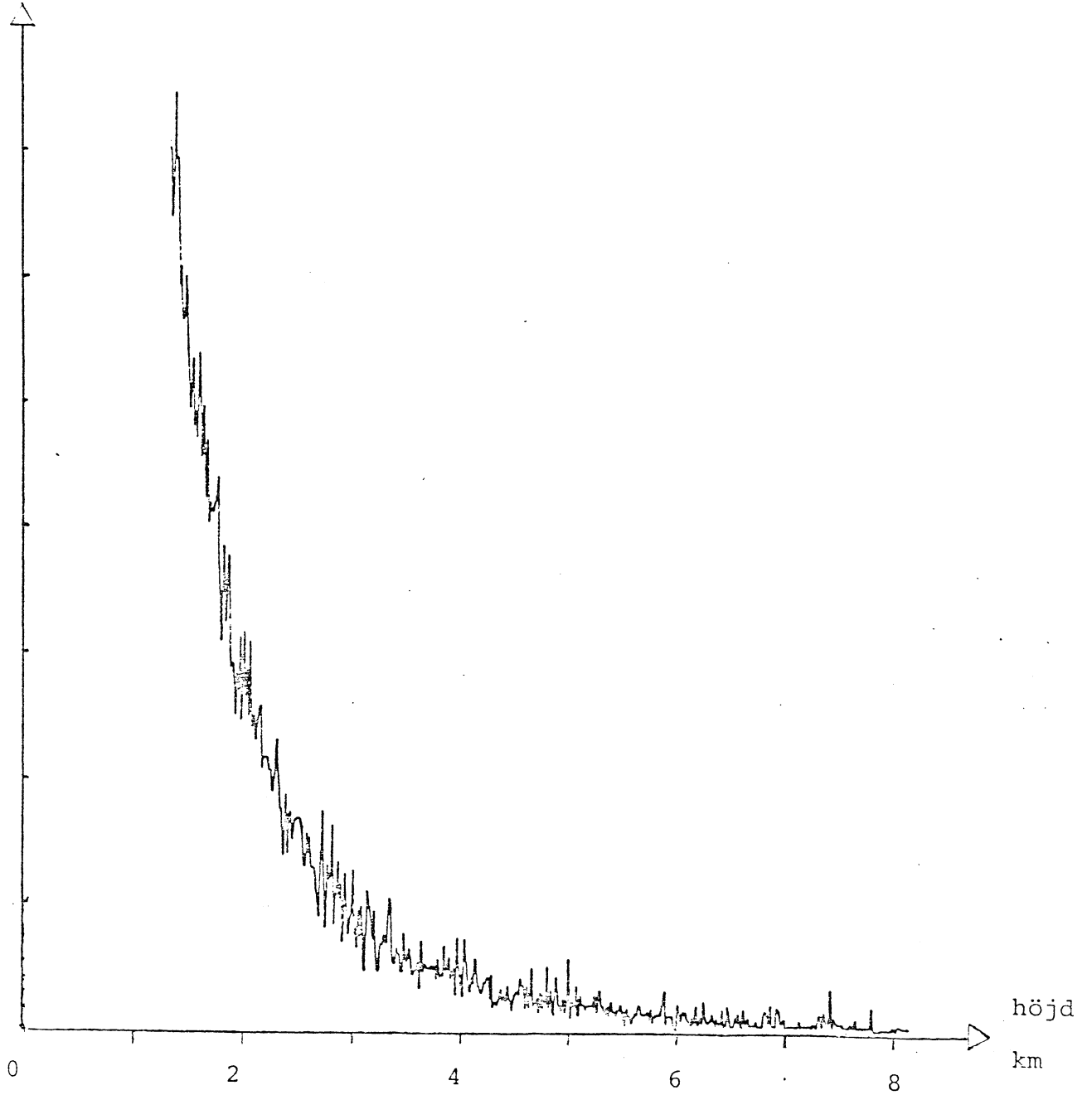


Diagram 1. Elastiskt spridd Lidar-signal

I tabell 3. finns Raman-signalernas våglängder. Genom att använda boxcar-integratorn och svepa monokromatorn över det intressanta våglängds-intervallet får vi ett spektral bild som i diagram 2. (2 mm spalt) och diagram 3. (4 mm spalt). Integratorn har delay = 0 s och en fast gate på 100 μ s. Vi kan tydligt se O₂- och N₂- linjerna. H₂O förväntas ligga vid 408 nm och med litet god vilja² kan man urskilja linjen. En trolig förklaring till den svaga signalen är den kalla väderleken och därmed låga fuktinnehållet i luften.

<u>Molekyl</u>	<u>Våglängd</u>
O ₂	376 nm
N ₂	387 nm
H ₂ O	408 nm

Tabell 3. Raman-våglängder vid laser-våglängden 355 nm

Ytskiktsspeglarna fluorescerar kraftigt i blått omkring 400 nm. Den använda integratorn har ingen möjlighet till fördröjning och därför ser vi hur bakgrunden växer upp pga den blå fluorescensen. Eftersom mätningarna skedde under mörker kan spaltöppningen väljas så att lämplig spektral upplösning erhålls. Vid stark bakgrund kommer emellertid små spaltbredder att vara ett krav för att inte ströljus ska försämra mätningarna.

I diagram 4. och 5. finns exempel på N₂- och O₂-transienter. Här kan man se hur svaga Raman-signalerna verkligen är. Det handlar om att detektera enskilda fotoner faktiskt. För att få god statistik krävs att man medelvärdesbildar ett stort antal transienter som i diagram 6. och 7.

En mycket förklarande bild av skillnaden mellan elastiskt spridda signaler och Raman-signaler får man om man studerar mätningar där kraftiga molnbankar ligger i vägen. I diagram 8. visas det elastiska ekot från ett sådant tillfälle. Molnbanken på ca 300 m höjd syns tydligt pga att vattendroppar i molnet ökar den elastiska spridningen kraftigt.

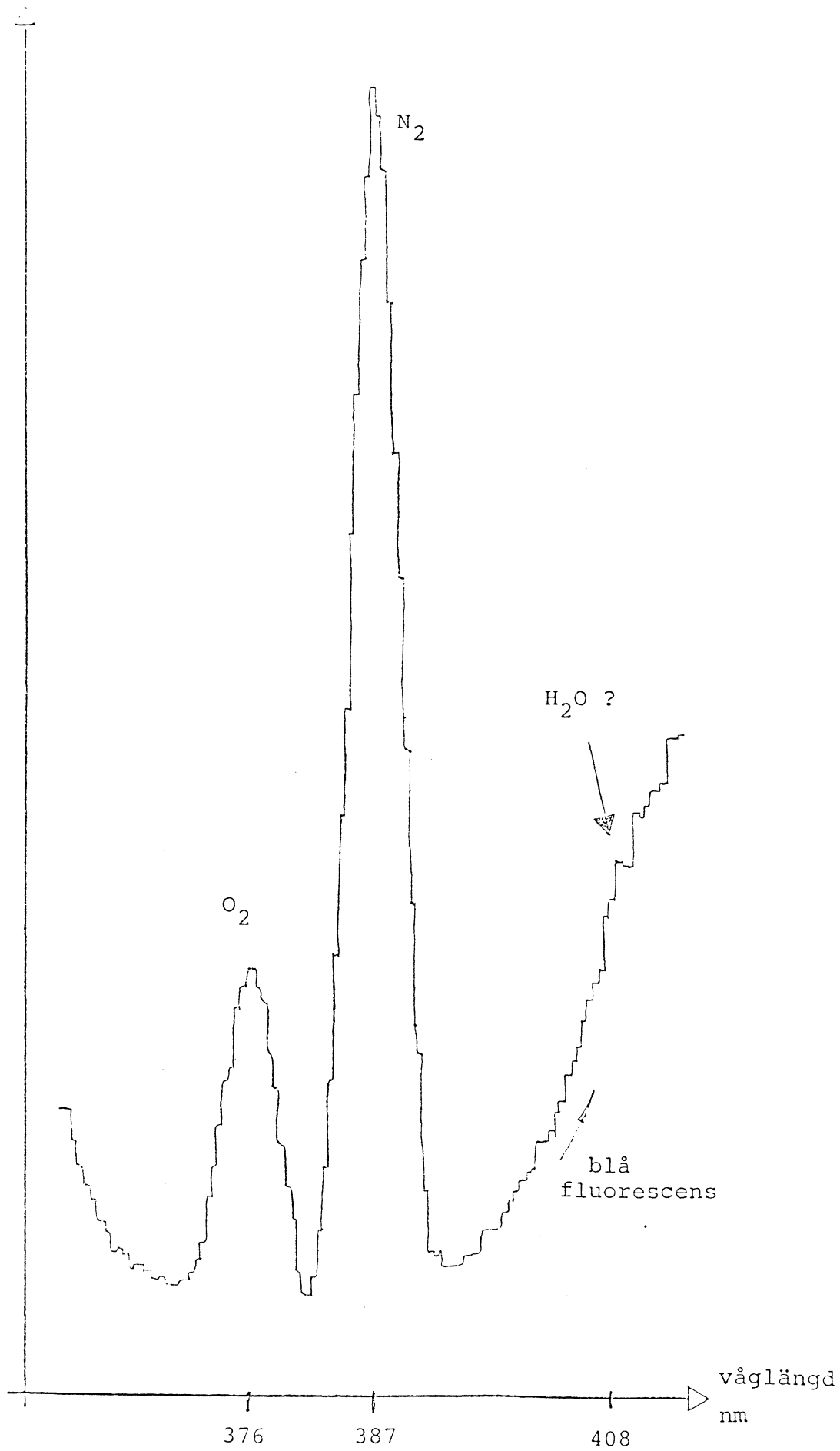


Diagram 2. Raman-spektrum , 4 mm spaltbredd

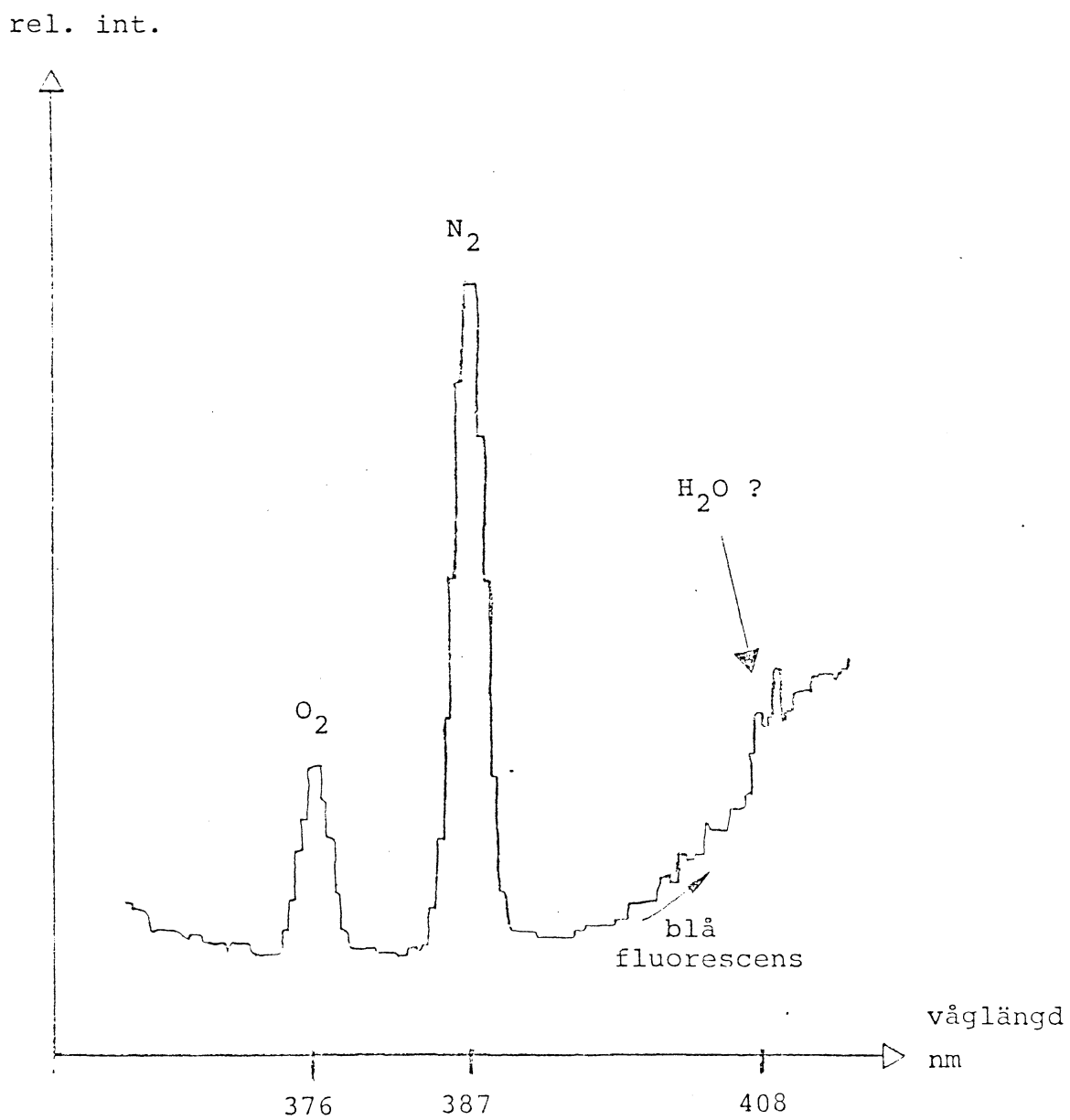
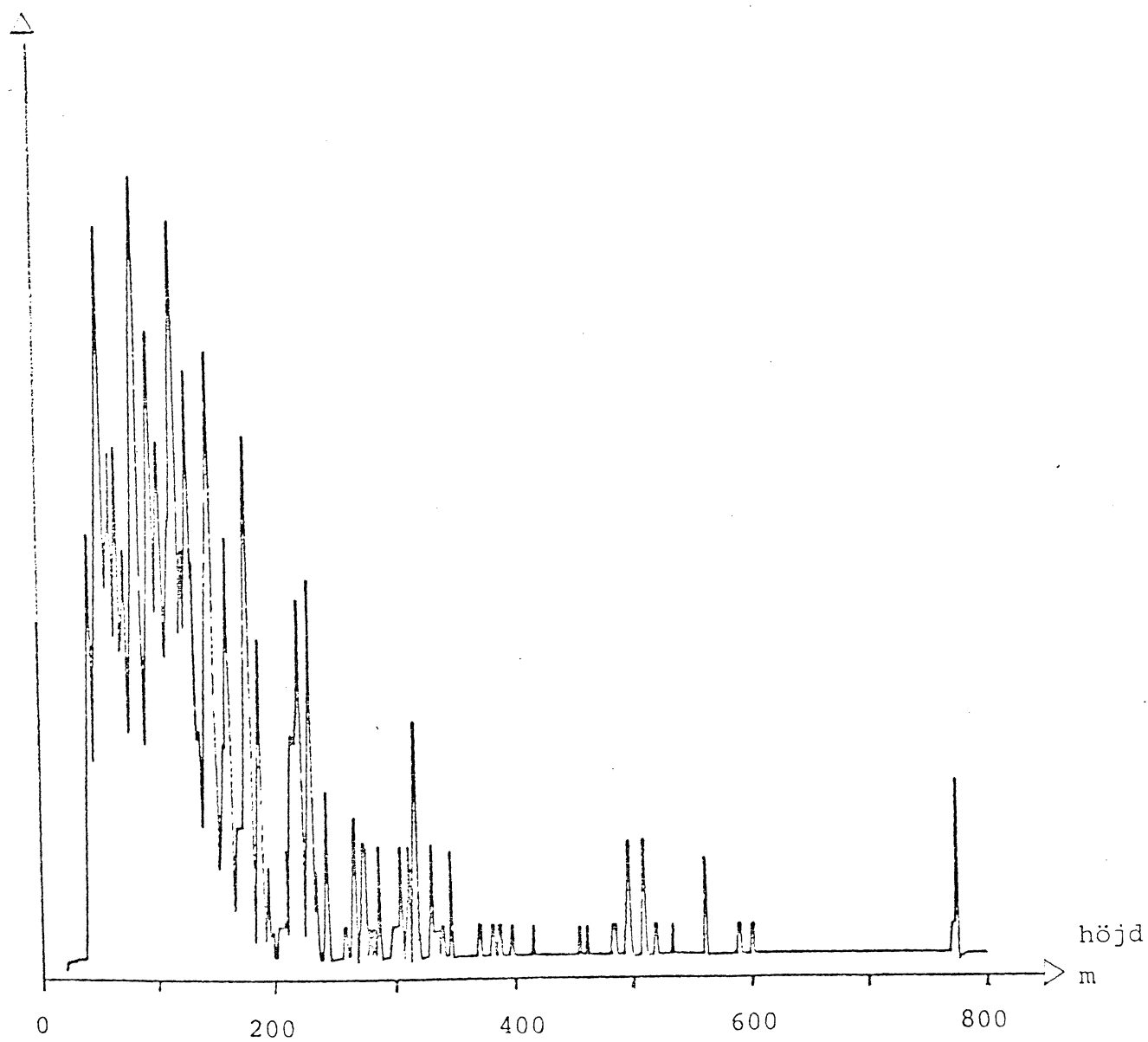


Diagram 3. Raman-spektrum , 2 mm spaltbredd

rel. int.

Diagram 4. N₂ - Raman signal

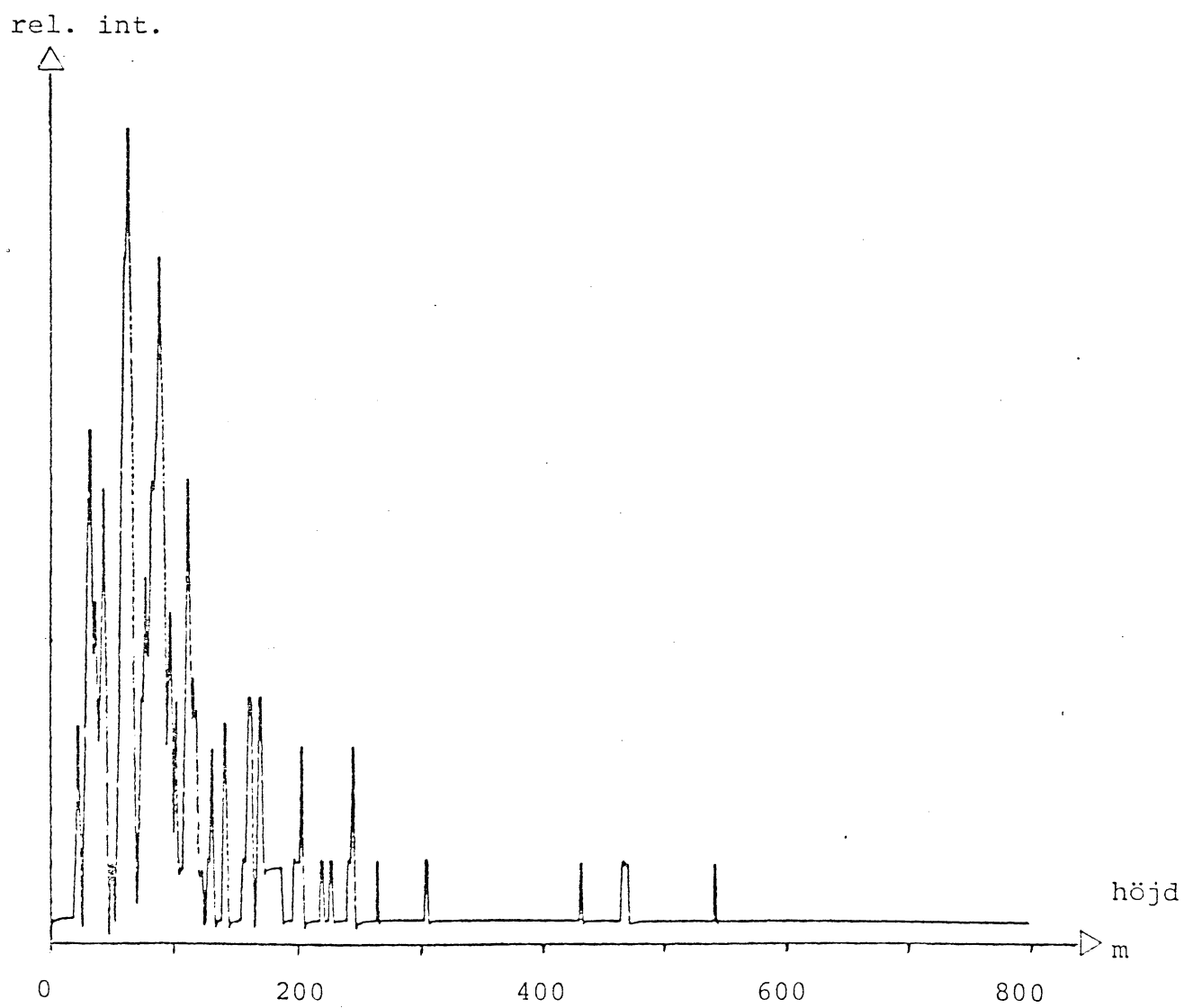


Diagram 5. O_2 - Raman signal

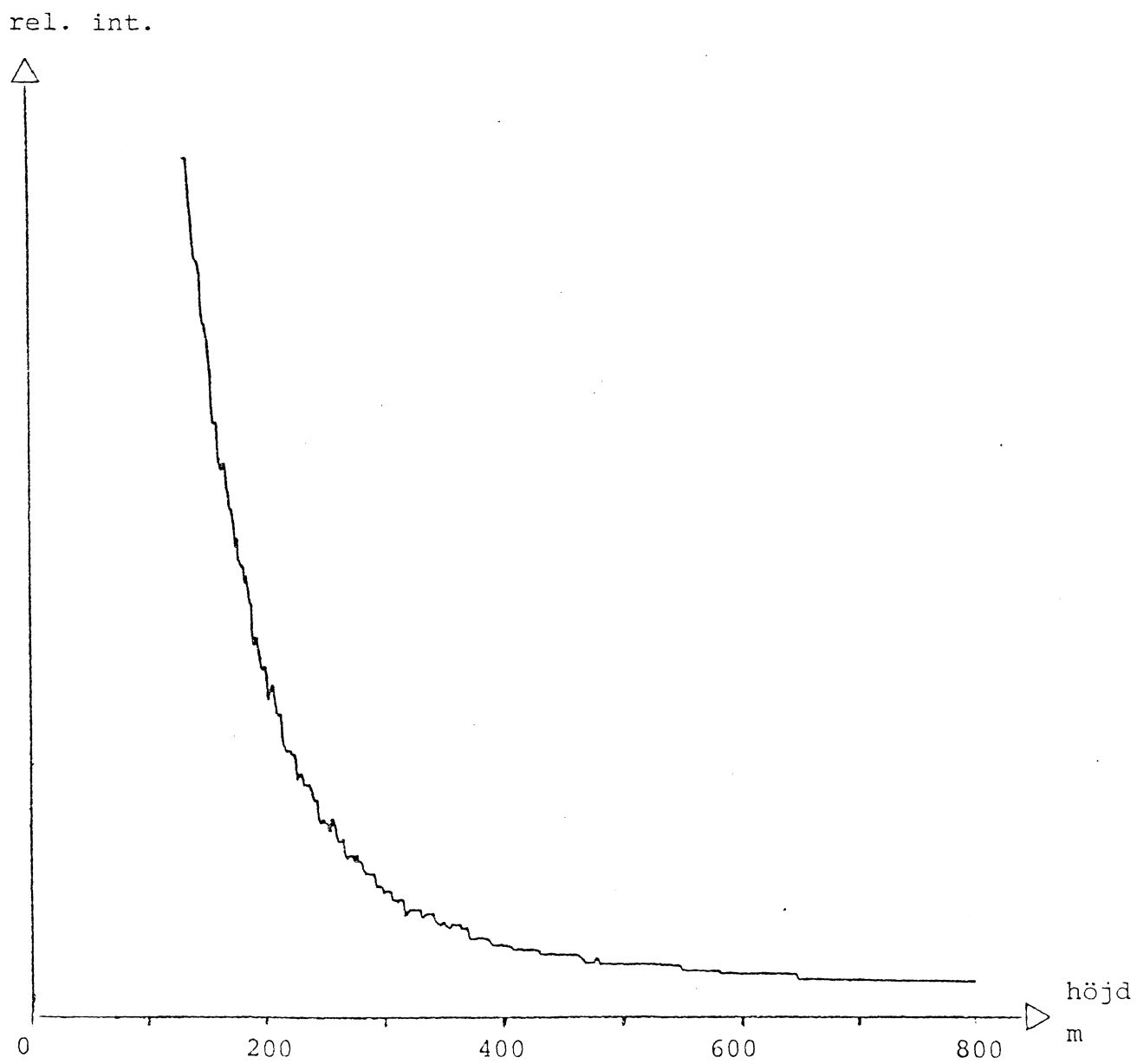


Diagram 6. 2000 N₂- Raman-signaler medelvärdesbildade

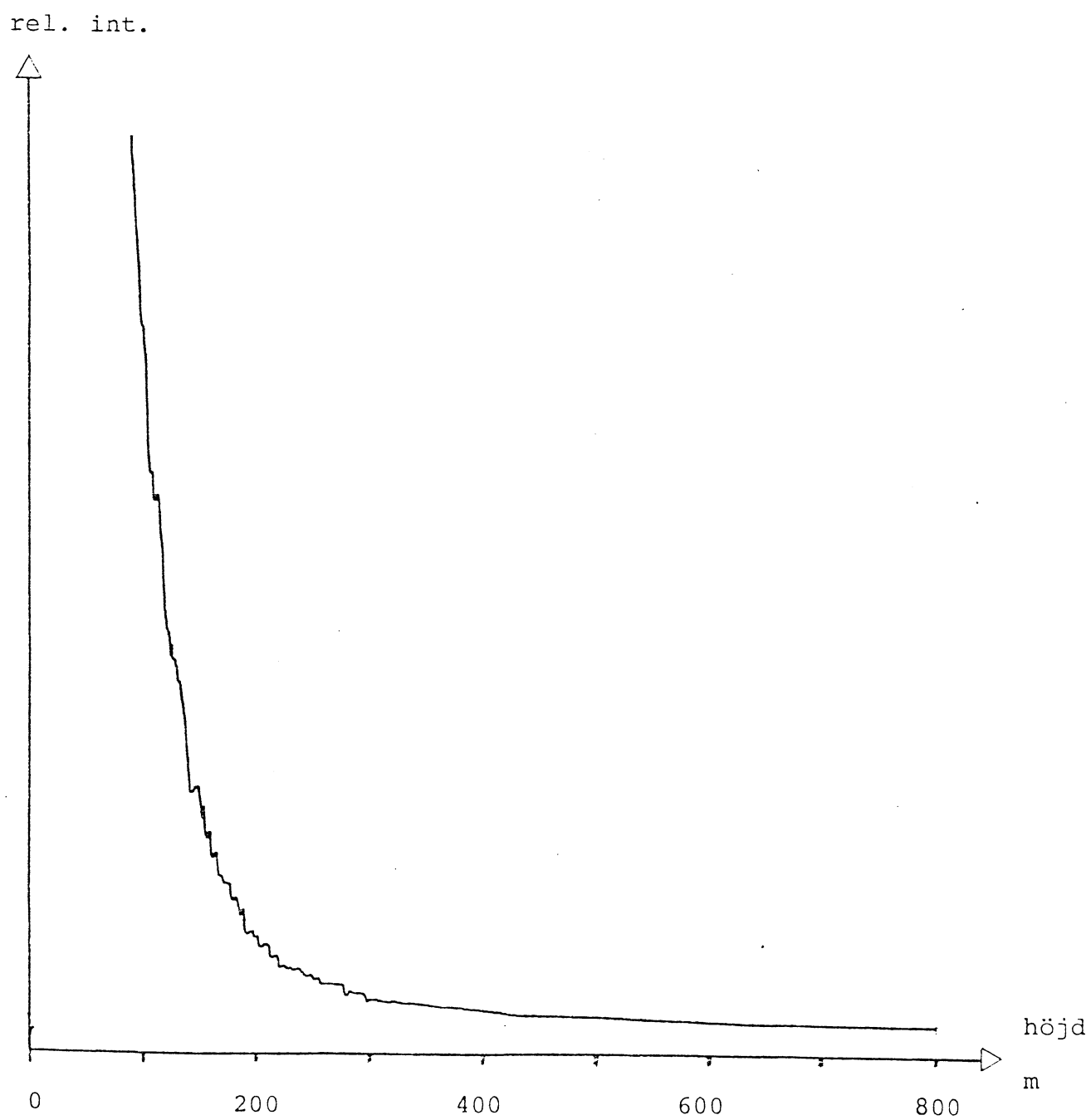


Diagram 7. 4200 O₂-Raman-signaler medelvärdesbildade

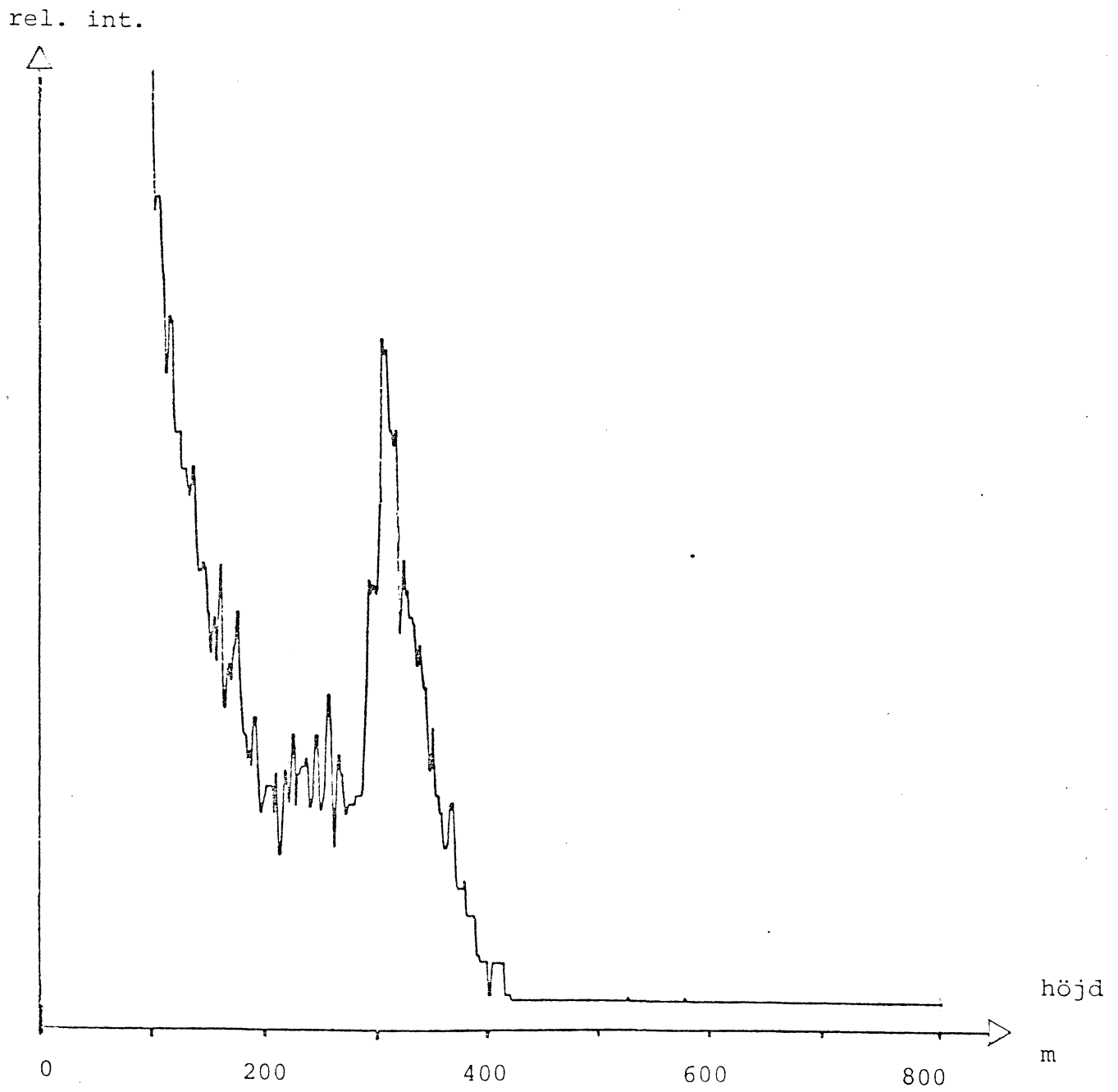


Diagram 8. Elastisk signal. Molnigt väder

Studeras N_2 -signalen i diagram 9. ser vi att signalen istället minskar i molnet (molnbanken har nu flyttat sig till ca 500 m höjd). Eftersom vattendropparna i molnet sprider laserljuset finns det betydligt mindre ljus kvar som kan generera Raman-effekt mot N_2 -molekylerna.

Några H_2O - signaler kunde inte registreras pga den svaga signalstyrkan.

10.2 Mätningar med Excimer-laser

Mätningarna utfördes under några veckor i april 1985. Vädret var växlande med temperaturer kring $0^\circ C$.

10.2.1 Mätuppställning

I figur 5. kan mätuppställningen studeras. Lasern gav 130-140 mJ vid 308 nm. Lasern stod något för lågt placerad i förhållande till fönstret och jag använde mig därför av två kvartsprismor för att höja laserstrålens läge. Via spegel A. träffar ljuset vikspegeln som riktar strålen vertikalt. Eftersom Excimer-laserns ljusfläck är betydligt större än Nd:YAG-laserns klarar jag mig utan beam-expander den här gången. Efter förluster i prismor och speglar fanns ca 50 mJ kvar som kunde ge sig ut i atmosfären.

Utrustningen på detektorsidan skiljer sig också på några punkter gentemot YAG-mätningarna. Filtret byttes ut mot ett 1 mm WG 335 cut-off filter och en annan fotomultiplikator, EMI 9558QB (max spänning 1560 V), användes istället.

Den viktigaste skillnaden var dock att pga att medelvärdesbildaren vid tillfället var ur funktion tvingades jag att använda en boxcar-integrator både för spektrala upptagningar och för vågformer. Boxcar-metoden är betydligt sämre än transient-digitizern vid denna typen av mätningar eftersom den endast utnyttjar en liten del av informationen i varje laserskott (ref.[11]). Tyvärr försämrades mätningarna ytterligare av att jag använde en gate på endast 10 ns, vilket betyder att jag av varje transient bara utnyttjar information från ett 1.5 meters intervall. Som vi har sett är Raman-signalerna mer "stokastiska" än kontinuerliga till sin natur (foton eller ej ?) och många gånger registreras ingen foton alls i det lilla 1.5 meters fönstret.

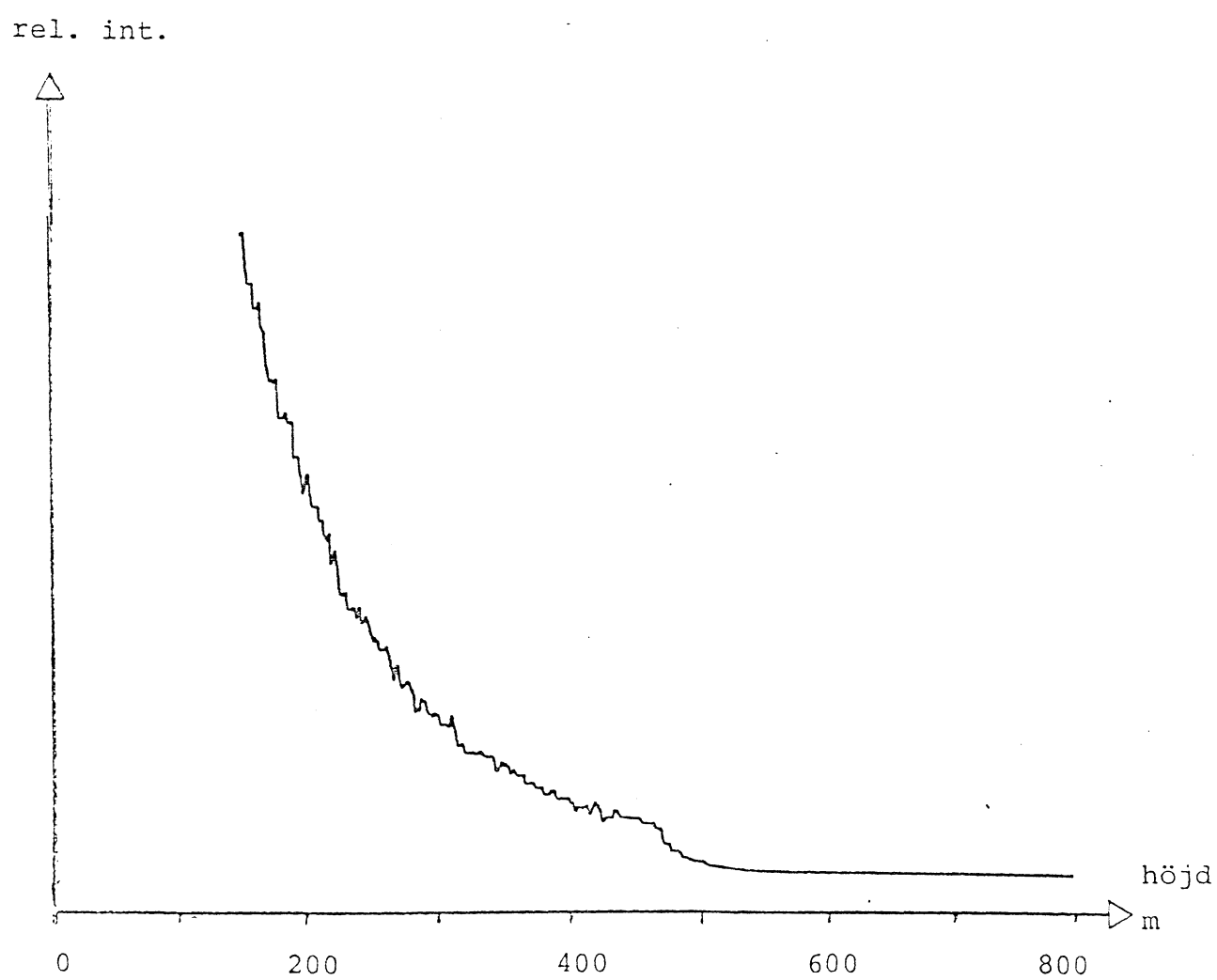
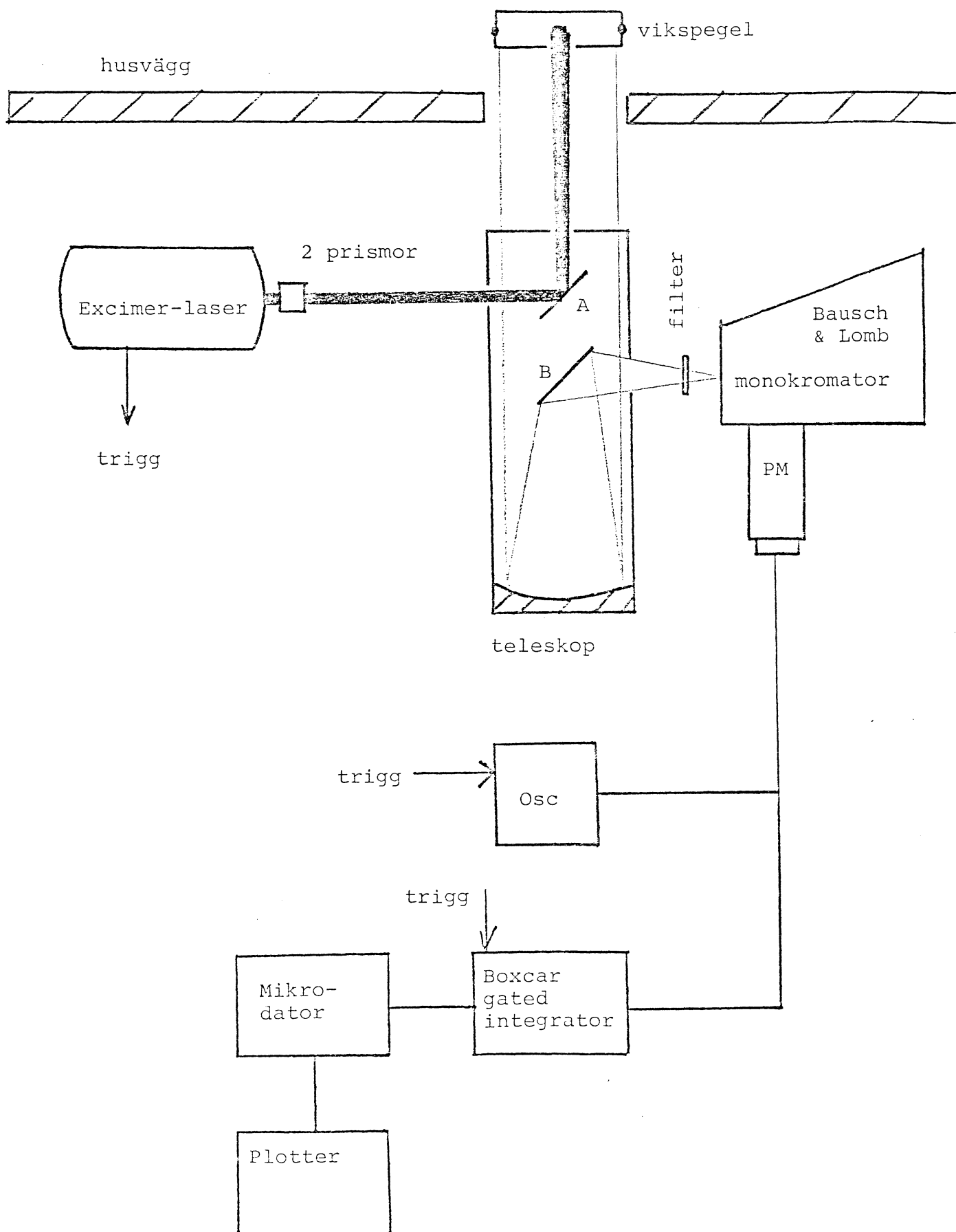


Diagram 9. 2000 N₂ - Raman-sigaler medelvärdesbildade.
Molnigt väder.



Figur 5. Mätuppställning med Excimer-laser

Pga Excimer-laserns större divergens använde jag 4 mm spaltbredd på monokromatorn.

10.2.2 Mätningar i mörker

På samma sätt som tidigare justeras överlappet med speglarna A och B. I diagram 10. ser vi en elastisk vågform. Full signalstyrka fås inte förrän överlappet blir fullständigt, vilket sker på ca 80 m höjd.

En molning natt kan det se ut som i diagram 11. Ett kraftigt regnmoln ligger på 750 m höjd.

I tabell 4. finns Raman-linjernas lägen. I diagram 12. finns ett spektrum upptaget med en fast gate på 2.1 μ s, vilket innebär integrering av signalerna från 40 till 315 meter. Här kan vi nu se en svag H₂O- signal vid 347 nm.

<u>Molekyl</u>	<u>Våglängd</u>
O ₂	323 nm
N ₂	332 nm
H ₂ O	347 nm

Tabell 4. Raman-våglängder vid laservåglängden 308 nm

I diagram 13. och 14. finns N₂ upptagen dels som enkel vågform, dels 10 st medelvärdesbildade. I diagram 15. och 16. dito för O₂.

Diagram 17. innehåller en H₂O- vågform och diagram 18. 20 st medelvärdesbildade. Vi tappar som sagt mycket information genom Boxcar-metoden.

10.2.3 Mätningar i dagsljus

I diagram 19. har jag tagit upp ett dagsljusspektrum utan laser en klar och solig dag. Vi ser att vid kortare våglängder än 300 nm försvinner bakgrunden helt. Detta beror på ozon-absorbktion i de högre atmosfäriska lagren och Raman-lidar-system där Raman-linjerna hamnar under 300 nm fungerar utmärkt även på dagen (ref.[12-13]).

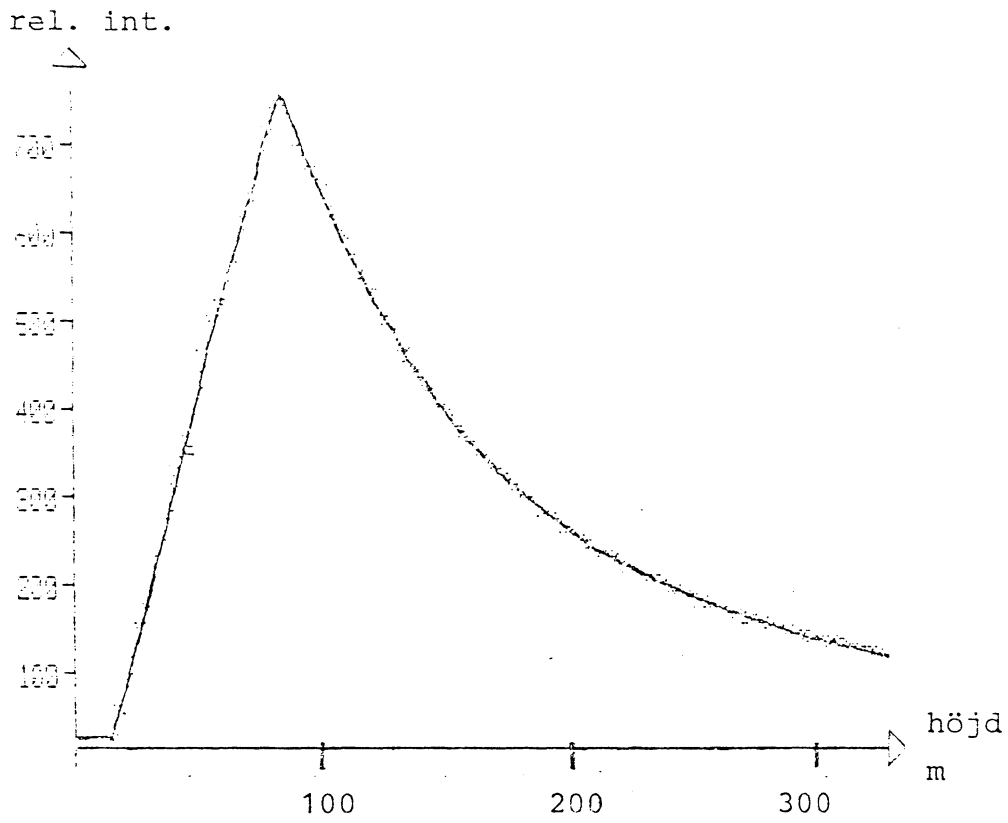


Diagram 10. Elastisk vågform

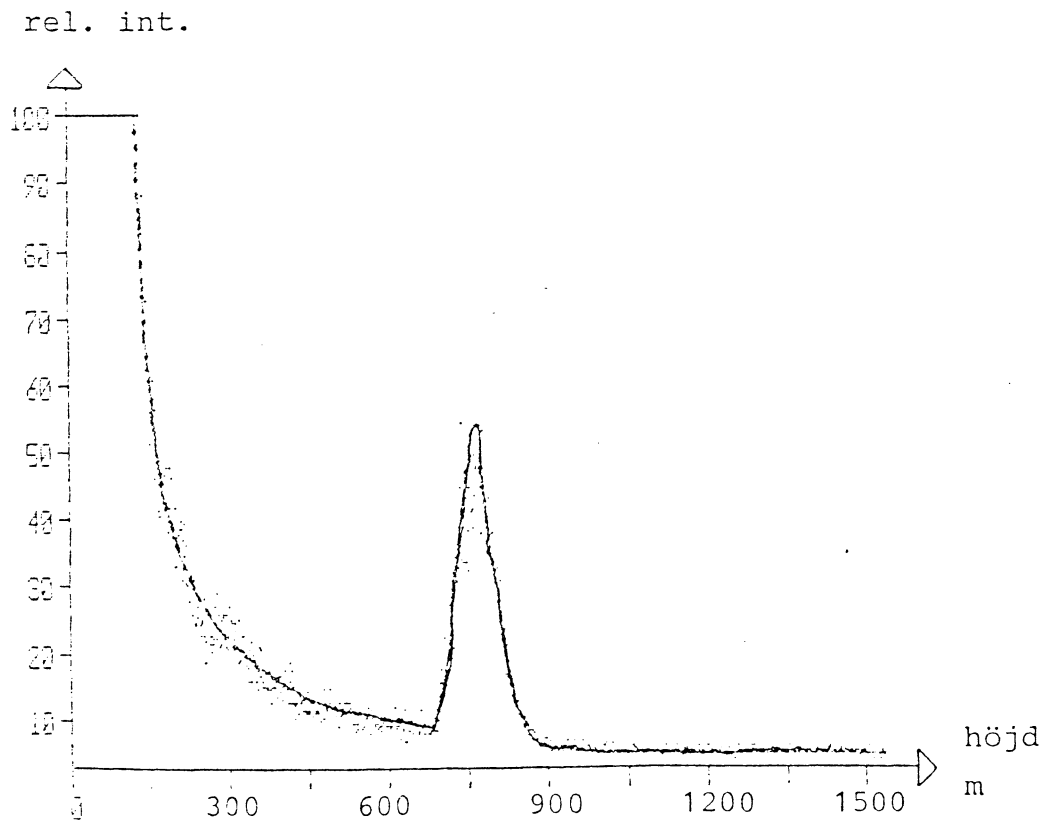


Diagram 11. Elastisk vågform med synlig molnbank

rel. int.

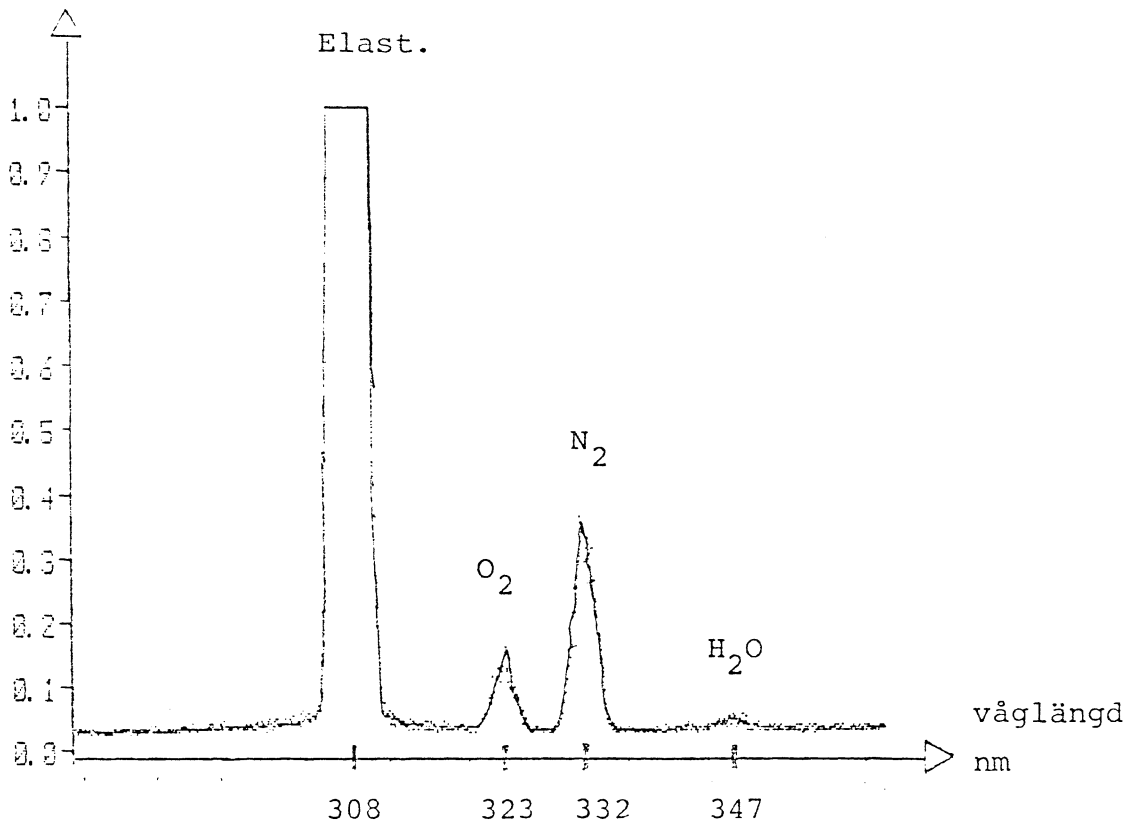


Diagram 12. Raman-spektrum

rel. int.

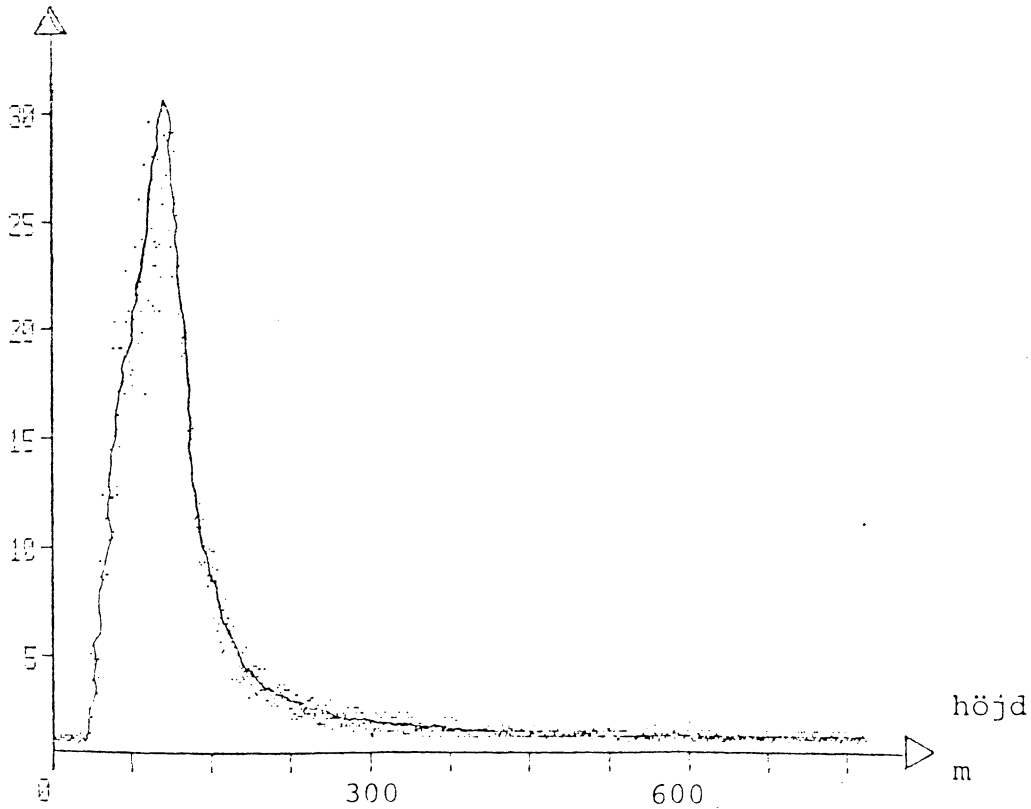
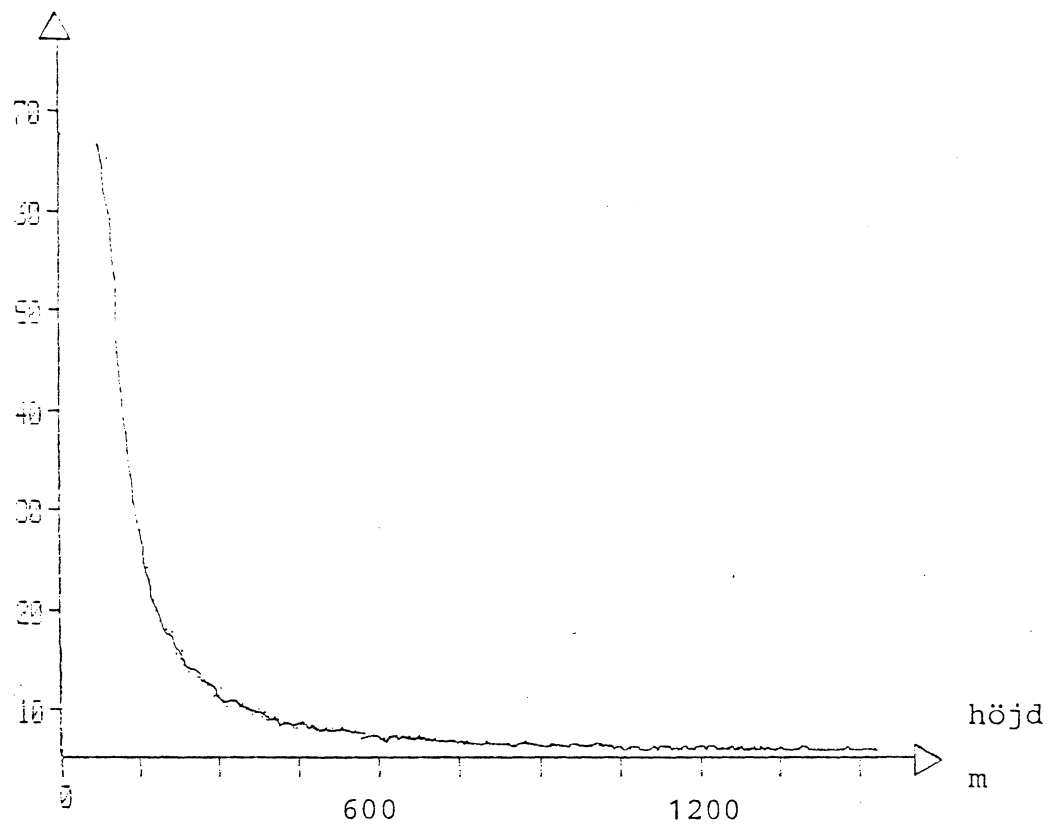
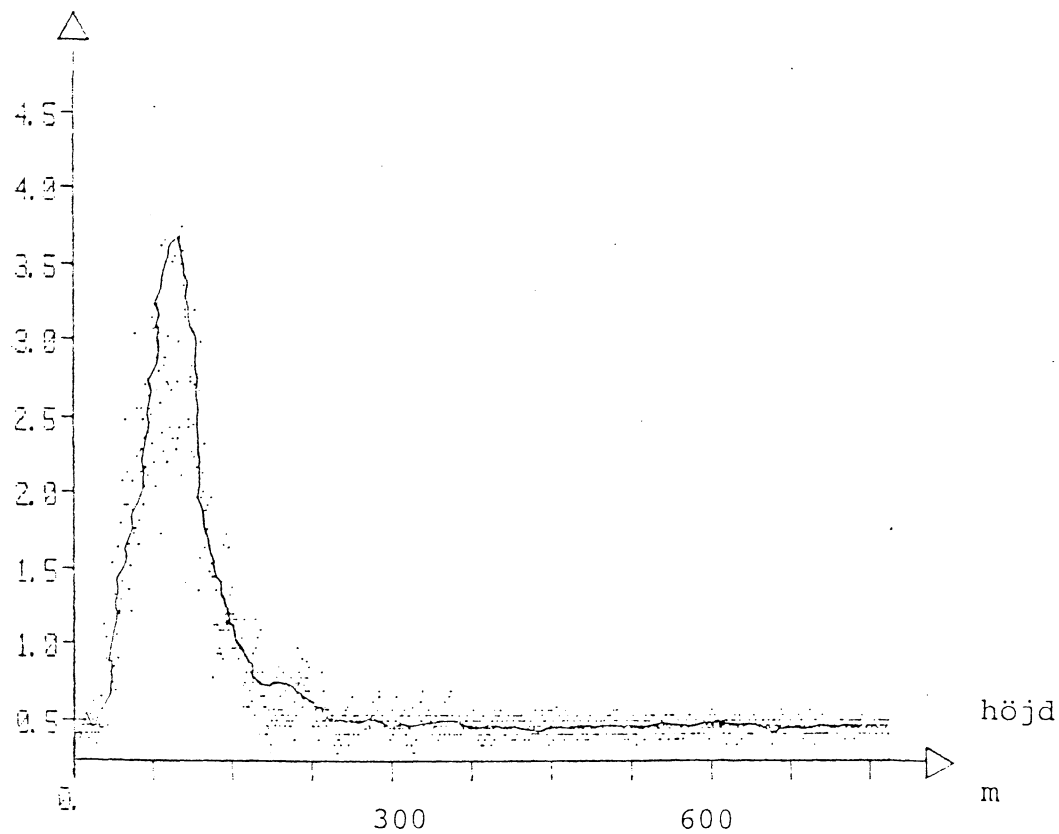


Diagram 13. N₂ - Raman vågform

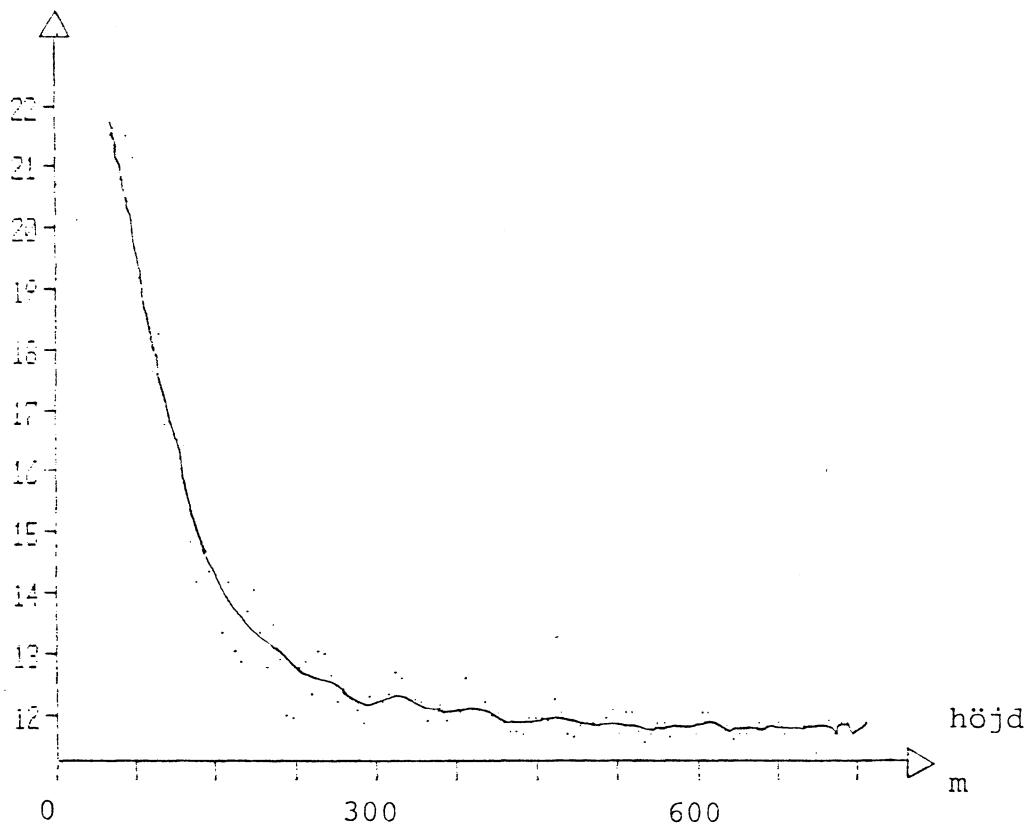
rel. int.

Diagram 16. 10 st O₂- Raman vågformer

rel. int.

Diagram 17. H₂O- Raman vågform

rel. int.

Diagram 18. 20 st H₂O- Raman vågformer

rel. int.

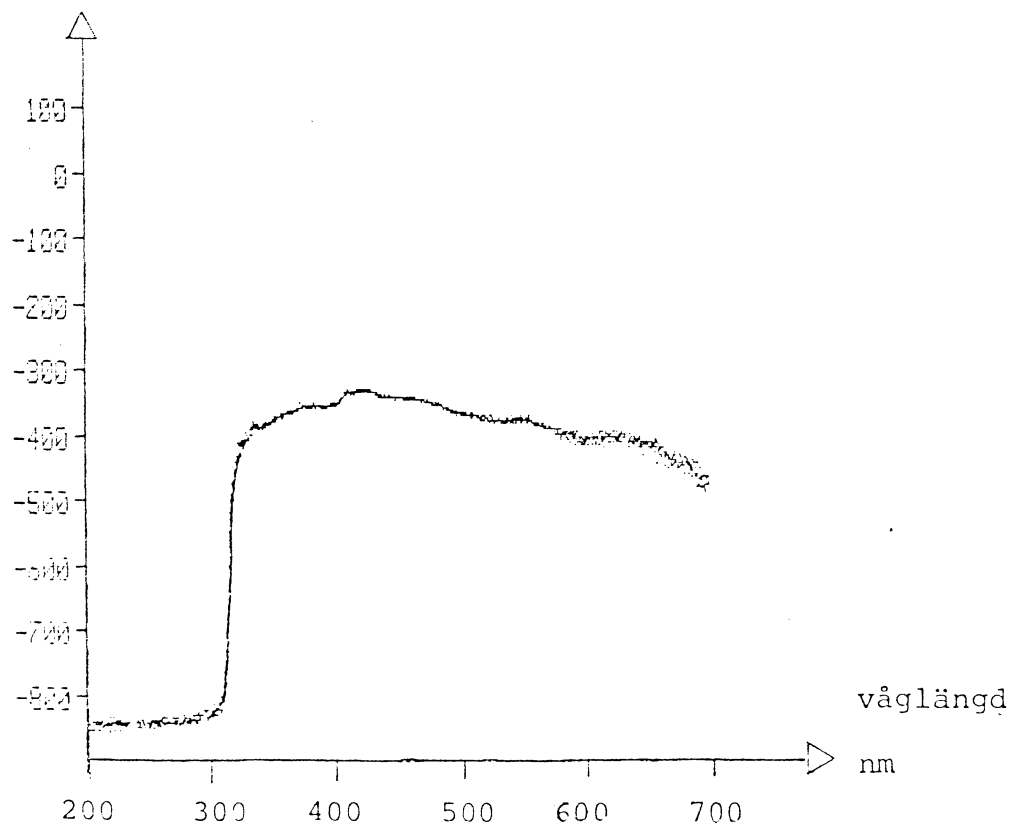


Diagram 19. Dagsljus-spektrum av himmelsbakgrunden

Excimer-lasern på 308 nm genererar ju Raman-linjer mellan 320-350 nm och bakgrunden kommer att inverka. I diagram 20. finns Raman-spektra upptagna med resp utan laser vid dagsljus. Vi kan här endast urskilja N_2 -linjen mot bakgrunden. Excimer-lasern visar här en svaghet. Spaltbredden måste minskas till 2 mm pga den starka bakgrunden och därmed förlorar vi ljus. En divergens på 4 mrad betyder minst 4 mm spalt för att få med allt ljus eftersom teleskopets brännvidd är 1 m. Här borde YAG-lasern ge ett bättre resultat genom sin lägre divergens.

11 Sammanfattning

Som framgått av mätningarna har jag inte kunnat göra någon bra jämförelse mellan de båda systemen dels pga att mätningarna utfördes olika årstider, dels därför jag tvingades att använda mig av boxcar-integrator i Excimer-systemet. I ref.[7,14-15] redogörs för mätningar av vattenånge-profiler upp till 2-3 km utan problem och eftersom dessa system inte skiljer sig från dem jag har använt på några avgörande punkter, kan man förvänta sig liknande resultat.

I tabell 5. finns de viktigaste skillnaderna mellan de olika Lidar-systemen redovisade.

I eventuella framtida försök bör man göra mätningar någorlunda samtidigt och gärna på sommaren, då luftfuktigheten är hög. Dessutom bör man använda samma utrustning på detektorsidan.

	YAG-system 355 nm	Excimer-system 308 nm
Uteffekt	25 mJ	50 mJ
Rel. Raman- tvärsnitt	1	1.8
Divergens	1 mrad	4 * 8 mrad

Tabell 5. Skillnader mellan de olika Lidar-systemen

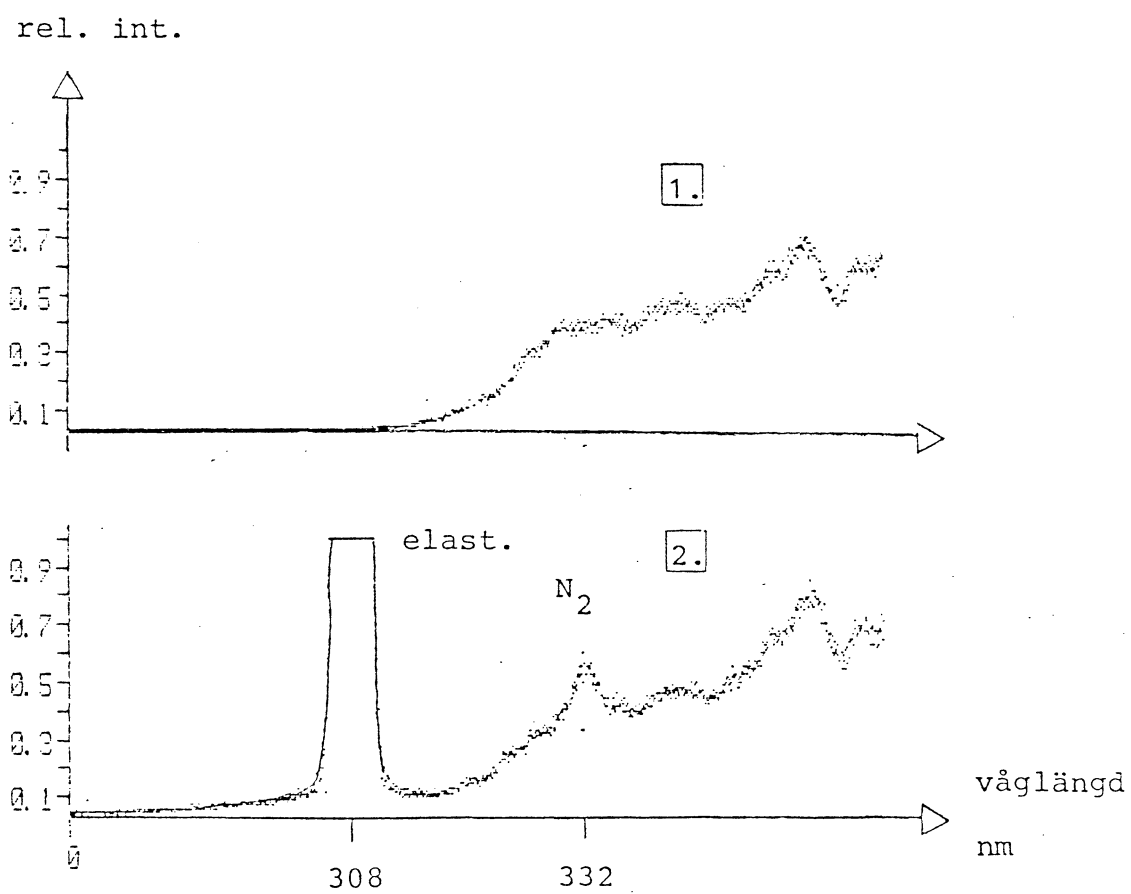


Diagram 20. Raman-spektrum i dagsljus
Kurva 1. Utan laser
Kurva 2. Med laser

1. E. Hinkley, Laser monitoring of the atmosphere, Springer-Verlag, Berlin (1976)
2. S. Svanberg, Contemp. Phys. 6, 541 (1980)
3. K. Fredriksson, Laser spectroscopy applied in studies of alkali-atom structure and in environmental monitoring, CTH Göteborg (1980)
4. S. Svanberg, Atom och molekylspektroskopi, kap IV, LTH Lund (1982)
5. C.V. Raman, Nature 121, 619 (1928)
6. G. Landsberg and L. Mandelstam, Naturwissenschaften 16, 575-772 (1928)
7. J.C. Pourny, D. Renaut and A. Orzag, Applied Optics 18, 1141 (1979)
8. E.V. Browell, T.D. Wilkerson and T.J McIlrath, Applied Optics 18, 3471 (1979)
9. J.A Cooney, Opt. Engineering 22, 292 (1983)
10. S. Svanberg, Atom och molekylspektroskopi, kap VIII, LTH Lund (1982)
11. S. Svanberg, Atom och molekylspektroskopi, kap IX.D, LTH Lund (1982)
12. D. Renaut, J.C Pourny and R. Capitini, Optics Letters 5, 233 (1980)
13. K. Petri, A. Salik and J. Cooney, Applied Optics 21, 1212 (1982)
14. A. Hågård, O. Steinwall and Kent Fredriksson, Weather profiling by a ground based Lidar, konferensrapport (1981)
15. S. Melfi and J. Lawrence, Applied Phy. Lett. 15, 225 (1969)