

Rapport SGC 026

KOLDIOXIDGÖDSLING I VÄXTHUS
MED HJÄLP AV NATURGAS
Handbok och tillämpningsexempel

Stig-Arne Molén

Mäster Grön, Helsingborg

Augusti 1992



SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat och dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Vattenfall Naturgas AB, Sydgas AB, Vattenfall AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB och M.E.Malmö Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB

Jörgen Thunell

SAMMANFATTNING

Vid växthusodling är det väl dokumenterat att en ökad tillförsel av koldioxid (CO_2) ger ett ökat skördeutbyte. Genomsnittlig produktionsökning, så som den rapporterats från ett stort antal försök, har varit 26 %. Som referens har då använts skörderesultatet vid CO_2 -halten 300 ppm. För gurka har skördeökningar på 30-35 % rapporterats då CO_2 -halten höjts från den naturliga nivån 340 till 700 ppm. Motsvarande ökning har också uppnåtts för tomatodlingar.

Har man tillgång till naturgas kan CO_2 produceras genom förbränning av denna, antingen i speciella brännare placerade i växthusen, eller i en befintlig central värmepanna. I det senare fallet distribueras CO_2 ut till växterna i ett system av PVC-slangar. I rapporten beskrivs en anläggning med CO_2 -gödsling från en naturgaseldad värmepanna.

Vid beräkning av CO_2 -förbrukningen i ett växthus måste man uppskatta såväl den mängd CO_2 som växterna förbrukar vid olika växtbetingelser som den ventilationsförlust som uppstår vid olika väderförhållande och öppningsgrad av luftningsfönster. Empiriska formler har tagits fram bl a vid en trädgårdsteknisk försöksstation i Naaldwijk i Holland. CO_2 -tillförselns effektivitet, dvs upptagen CO_2 i växterna i förhållande till totalt tillförd mängd, varierar kraftigt med luftningsgrad och väderförhållande. Det gäller därför att vara uppmärksam på ventilationsförlusterna om man har en förhöjd CO_2 -halt i växthuset.

Naturgas är ett rent bränsle som vid optimal förbränning ger extremt låga halter av oförbrända produkter, som t ex etylen, PAH och koloxid. NO_x bildas vid all förbränning genom oxidation av luftens kväve men med modern brännarteknik kan halten vid förbränning av naturgas hållas låg. I praktiska mätningar, utförda vid Nygaards Trädgårdsodlingar i Halmstad, som CO_2 -gödslar med förbränningsgaser från en naturgaseldad panncentral, låg halterna av olika föroreningar långt under de hygieniska gränsvärdena och på nivåer som inte påverkar växterna negativt.

Vid dosering av CO_2 kan man använda en sk klimatdator som innehåller speciella optimeringsprogram. Försök i Holland visar att man med väl utformade program kan få en hög skörd med väsentligt lägre CO_2 -förbrukning än vid dosering med standardprogram.

Genom installation av en värmeackumulator vid CO_2 -gödsling från en värmepanna kan gödsling ske även vid tillfällen då värmebehovet är litet. Den lagrade värmen kan sedan användas då förhållandena är de omvända, dvs när värmebehovet är stort och CO_2 -behovet litet. Med 90 m³ ackumulatorvolym per ha växthusyta kan man på detta sätt hålla CO_2 -halten på önskade nivåer under större delen av året.

En ekonomisk kalkyl visar att kostnaden för att upprätthålla 340 ppm i växthuset under hela växtsäsongen är ca 35 % lägre med naturgaseldad panncentral och ackumulator jämfört med inköpt CO_2 .

Det är viktigt att övervaka CO_2 -halten i växthuset med ett tillförlitligt instrument. Detta måste man göra dels för att undvika för höga halter som kan skada växterna, dels för att styra CO_2 -halten till önskad nivå. Det är också viktigt att man väljer en representativ placering av instrumentet eftersom CO_2 -halten är olika i olika delar av växthuset.

I vissa fall kan det vara ekonomiskt intressant att installera en gasmotor med generator för samtidig produktion av värme och el till sitt växthus. Man måste då vara medveten om att avgaserna från en motor innehåller avsevärt högre halter av t ex koloxid och NO_x än avgaserna från en naturgaseldad panncentral. Det är osäkert om man i framtiden kan få fram sådan reningsteknik att motoravgaser till rimlig kostnad kan användas för CO_2 -gödsling.

SUMMARY

At greenhouse cultivations it has been well documented that an increased supply of carbon dioxide (CO_2) will result in a growth increase. The average production increase has been 26 %, as reported from a large number of tests. For cucumber, crop increases of 30 - 35 % have been reported when the amount of CO_2 was raised from the natural level of 340 ppm to 700 ppm. Similar growths have been obtained for tomato cultivations as well.

If natural gas is available, then the CO_2 can be produced by burning the gas, either in special burners placed in the greenhouses or in an existing central heating boiler. In the latter case, the combustion gases are lead to the greenhouses and to the plants by way of a PVC pipe system. In the report, a plant with CO_2 -fertilization from a natural gas fired boiler is described.

When calculating the amount of CO_2 that must be available in a greenhouse one has to estimate the absorption rate of CO_2 in the plants and the amount of CO_2 escaping through the ventilation windows. Empirical formulas have been worked out at a test station in Naaldwijk in Holland. The efficiency of the CO_2 supply, i.e. absorbed amount in relation to supplied amount, varies strongly with ventilation conditions and weather conditions. It is therefor essential to have the ventilation losses under observation.

Natural gas is a very pure fuel whose combustion products contain very small amounts of unburned substances such as PAH and carbon monoxide. NO_x is formed in all combustion processes through oxidation of the air nitrogen, but with modern natural gas combustion technology the amounts can be kept very low. Practical measurements in a greenhouse using combustion gases from natural gas for CO_2 -fertilization, have shown that the pollution levels are far below the hygienic limit values and far below values that could affect the plants negatively.

At dosage of the CO_2 one can use a so called climate computer containing special optimization programmes. By choosing the right program one can get a certain increase in the growth with a much lower CO_2 -consumption than by using a standard program.

By installing a hot water accumulator when using CO_2 from a central boiler one can to a certain extent optimize the heat supply and the CO_2 -fertilization in relation to each other. With a 90 m³ hot water tank per hectare greenhouse area one can keep the CO_2 at the desired levels most parts of the year without wasting valuable heat.

An economic calculation shows that the cost for keeping a 340 ppm CO_2 -level in a greenhouse during the whole plant season is about 35 % lower with natural gas fired central boiler and accumulator compared with CO_2 purchased on bottle.

In some cases it may be profitable to install a gas motor-generator to supply a greenhouse with heat and electricity. One must then be aware of the fact that the exhaust gases from a gas fuelled motor contain considerably higher quantities of carbon monoxide and NO_x than the exhaust gases from a gas fired hot water boiler. It is uncertain if such cleaning technique could be developed that CO_2 -fertilization with exhaust gases from a gas motor could be an economically interesting alternative in the future.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
0	Inledning 1
1	Växternas ämnesomsättning 1
	1.1 Fotosyntes – andning 1
	1.2 Nettoupptagning av CO ₂ 2
2	Koldioxidens produktionspåverkan 2
	2.1 Allmänt 2
	2.2 Gurka 2
	2.3 Tomat 3
	2.4 Sallat 3
	2.5 Chrysanthemum 4
	2.6 Plantupptragning 4
3	Metoder för tillförsel av CO₂ 4
	3.1 Allmänt 4
	3.2 Koldioxidens fysikaliska egenskaper 4
	3.3 Koldioxidkällor 5
4	Beräkning av erforderlig CO₂-tillförsel 7
	4.1 Allmänt 7
	4.2 Ventilationsförluster 8
	4.3 Plantornas CO ₂ -upptagning 9
	4.4 Totalt CO ₂ -behov 10
5	Påverkan på växthusluften vid CO₂-gödsling med förbränningsgaser 11
	5.1 Förbränningsprodukter 11
	5.2 Förbränningsprodukternas påverkan på växter 11
	5.3 Förbränningsprodukternas betydelse för arbetsmiljön 13
6	CO₂-doseringsmetoder och mängder 15
	6.1 Dosering av ren CO ₂ från tank 15
	6.2 Dosering av CO ₂ ingående i förbränningsgaser 16
	6.3 Praktiskt exempel 16
	6.4 Kostnader för CO ₂ -tillförsel 17
7	Mätinstrument och bevakning av CO₂-nivån 18
8	CO₂-gödsling med avgaser från motor 19
9	Referenser 20

Bilaga 1 Nygaards Trädgårdsodlingar AB, Halmstad: Beskrivning av system för CO₂-gödsling

Bilaga 2 Mätprogram. Arbetsmiljöförhållanden vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus

Bilaga 3 Luftkvalitetsmätningar vid koldioxidgödsling med förbränningsgaser från naturgaseldad panna

0 Inledning

Inom växthusnäringen är det sedan många år tillbaka ett välkänt faktum att koldioxidgödsling (CO₂-gödsling) ger ett ökat skördeutbyte och redan 1930 förekom prov med CO₂-tillförsel till växthus.

Koldioxiden kan produceras på olika sätt och ett sätt är att förbränna naturgas, antingen direkt i växthuset eller i en panna, och från pannan leda avgaserna till växthuset. Avgaserna från naturgasförbränning kännetecknas av att de huvudsakligen innehåller CO₂ och vattenånga och endast obetydliga mängder av föroreningar.

Föreliggande rapport beskriver hur halten CO₂ påverkar tillväxthastigheten hos olika växter, hur man praktiskt arrangerar CO₂-gödsling med hjälp av förbränningsgaser och hur man åstadkommer önskvärda CO₂-halter under olika årstider. Vidare behandlas inverkan av föroreningarna i förbränningsgaserna på såväl växterna som på den personal som arbetar i växthuset. Framställningen har närmast karaktären av handbok och bör kunna användas som ett hjälpmedel för dem som planerar att införa CO₂-gödsling med hjälp av naturgas i sina växthus.

I bilagor ges konkret exempel på en anläggning som utnyttjar naturgas för CO₂-gödsling (Nygaards Trädgårdsodlingar i Halmstad, bilaga 1), anvisningar för mätningar m h t arbetsmiljö vid CO₂-gödsling (bilaga 2) samt resultat av utförda luftkvalitetsmätningar i ett växthus (bilaga 3).

Huvudunderlaget till rapporten har lämnats av Stig-Arne Molén, som vid arbetets genomförande var anställd vid Mäster Grön i Helsingborg. Molén är numera anställd vid Svenska Predator AB. Tekniskt underlag beträffande Nygaards anläggning för CO₂-gödsling har lämnats av Vilh Nielsen, rådgivande ingenjör, mätprogrammet har utarbetats av Ann-Beth Antonsson vid IVL och luftkvalitetsmätningarna har utförts av VIAK AB.

Underlaget har bearbetats och rapporten har i sin helhet sammanställts av Jörgen Thunell och Per-Arne Persson vid Svenskt Gastekniskt Center AB i Malmö.

Projektet har finansierats av Svenskt Gastekniskt Center AB, Nygaards Trädgårdsodlingar, Lantbruksnämnden i Hallands län och Nordisk Gastekniskt Center.

1 Växternas ämnesomsättning

1.1 Fotosyntes – andning

Gröna växter har, som vi vet, förmågan att ur vatten, ljus och koldioxid (CO₂) producera socker. Detta kallas kolsyreassimilation eller fotosyntes.

Sockeret ingår i den vidare uppbyggnaden av växten, och bl a produceras såväl äggviteämnen som fett. En ökad tillförsel av ljus och CO₂ i kombination ökar växtens tillväxthastighet.

Den omvända processen kallas andning eller dissimilation och utgör en nedbrytning av det i växten lagrade sockret, varvid energi frigörs. Denna process sker framför allt då ljusintensiteten är mycket låg, dvs på natten.

De båda processerna kan också beskrivas som:

Fotosyntes: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{Energi (ljus)} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

Andning: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{Energi}$

1.2 Nettoupptagning av koldioxid (CO₂)

Skillnaden mellan de ovan beskrivna processerna, fotosyntes och andning, utgör nettoupptagningen av CO₂ i växten, med andra ord uppbyggnaden av växten själv.

Temperatur, ljus och CO₂-halt i omgivande luft påverkar den nettoupptagning av CO₂ som fotosyntes och andning vid varje tidpunkt ger upphov till i växten.

Genom mätningar på hela plantor har man kunnat bestämma hur stor mängd CO₂, som nettoupptagningen utgör, och som följaktligen försvinner från luften i växthusutrymmet. Mängden uttrycks vanligen i gram CO₂ per m² växthusyta och timme.

Detta värde, samt ventilationsförlusten (se avsnitt 4.2), måste man känna till för att kunna bestämma behovet av CO₂.

En ökad ljusintensitet ger en ökad nettoupptagning av CO₂ medan relationen mellan temperatur och nettoupptagning är mer komplicerad. Vid ökande temperatur ökar fotosyntesen, men andningen, dvs dissimilationen eller förbränningen av socker, ökar också. Detta betyder att det för en viss ljusintensitet finns en optimal temperatur. Denna optimala temperatur ökar med ljusintensiteten, dock endast upp till en viss nivå som varierar beroende av växtslag.

Planttäthet, temperatur och plantålder (om plantan bär frukter eller ej) påverkar plantans balans mellan fotosyntes och andning.

2 Koldioxidens produktionspåverkan

2.1 Allmänt

Den genomsnittliga produktionsökningen vid ökad CO₂-tillförsel, som observerats vid 770 mätningar och publicerats i 140 rapporter under de senaste 66 åren, har i genomsnitt varit 26 %. Denna ökning är mätt i förhållande till ett referensvärde på ca 300 ppm CO₂.

Denna genomsnittliga produktionsökning kan inte översättas till praktiska odlingsbetingelser, men indikerar hur viktig CO₂-tillförseln är.

Halten koldioxid i uteluft ligger för närvarande på ca 340 ppm. Om ingen speciell CO₂-tillförsel sker, kommer halten inne i ett växthus att ligga lägre än i växternas förbrukning av CO₂. Nedan beskrivs CO₂-haltens betydelse för tillväxten av ett antal olika växter.

2.2 Gurka

Många undersökningar av produktionens beroende av CO₂-tillförsel är utförda för gurka. Med hänsyn till nuvarande klimatregleringsmöjligheter i växthusen är endast undersökningar utförda de senaste fem åren intressanta.

Dessa undersökningar har visat att CO₂-halter över 1 500 ppm ger skador på plantorna (ref 1). Man har heller ingen anledning att av produktionsskäl överskrida halten 1 000 ppm.

En höjning av CO₂-halten från uteluftnivån på 340 ppm till 700 ppm har visat sig ge 30 - 35 % högre skördar.

En sänkning av CO₂-halten från 340 ppm till 200 ppm har visat sig ge 20 - 25 % minskning av skörden.

Gurka reagerar mycket positivt på tillförsel av CO_2 när ljusintensiteten är hög, dvs under sommartid.

Sammanfattningsvis kan sägas att man kan göra stora produktionsvinster genom att tillföra stora mängder CO_2 till en gurkodling.

- 2.3 **Tomat** Man kan uppnå samma goda effekt av extra CO_2 -tillförsel till tomatodlingar som till gurkodlingar (ref 1). En höjning av CO_2 -halten från 350 till 700 ppm har i undersökningar gett en skördeökning med 30 % medan en sänkning av halten från 350 till 200 ppm gett en skördeminskning med 20 %.

Högre CO_2 -halter än 1 000 ppm i växthuset är ogynnsamma. Liksom hos gurka kan brännskador uppstå på bladen vid höga halter. Vid användning av förbränningsgaser kan även blom- och knoppfall uppstå om etylenhalterna i avgaserna är höga (se avsnitt 5.2.2).

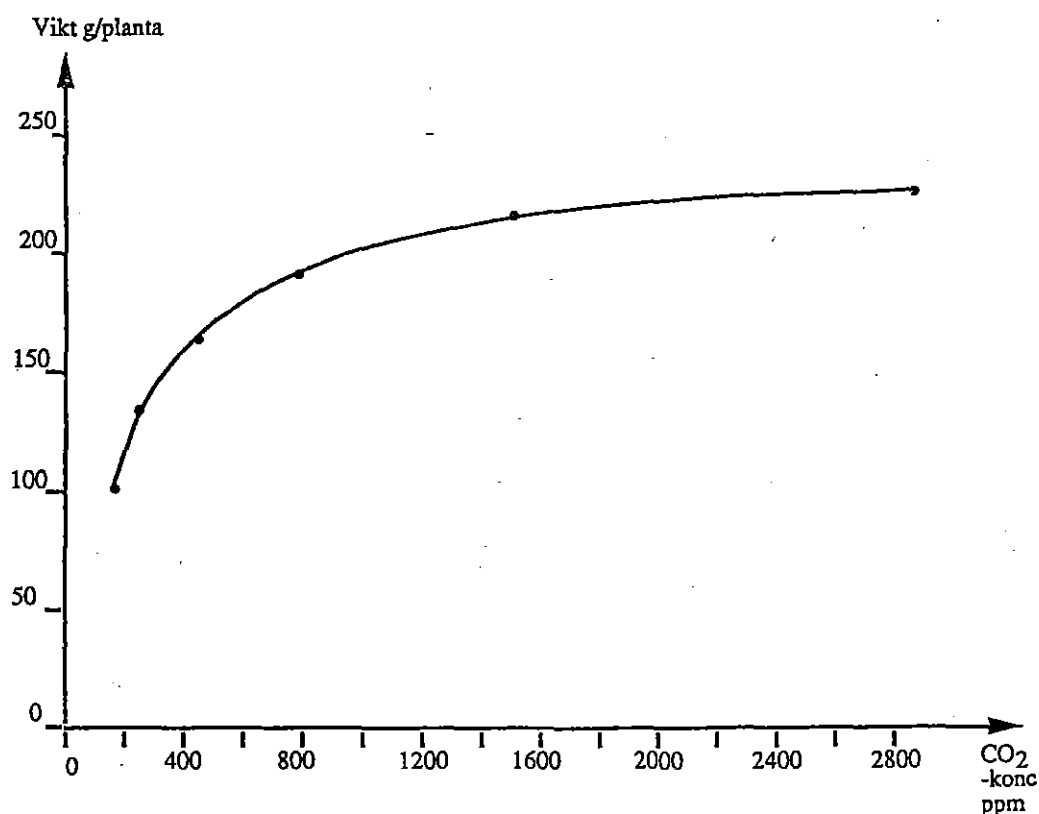
Det är därför extra noga att övervaka CO_2 - och etylenhalterna vid tomatodling.

- 2.4 **Sallat** Det gäller att ha skördefärdig sallat vid den tidpunkt när priset är högt. Vikten på bladmassan vid skördetillfället är då av stor betydelse.

Genom att höja CO_2 -halten i växthuset kan man påverka tillväxten positivt. Av diagram 2.1 nedan framgår att en höjning av CO_2 -halten från 350 till 1 000 ppm ökade vikten på sallatshuvudet med 25-30 % vid skörd. Högre CO_2 -halt gav också ett vackrare sallatshuvud med tjockare blad och mera sluten underkant. Även vid sallatsodling visade sig CO_2 -halter under 350 ppm vara negativa såväl från produktions- som kvalitetssynpunkt.

Sallat kan tåla höga CO_2 -halter, ända upp till 10 000 ppm har uppmätts, utan att skador uppstår (ref 1).

Diagram 2.1 Viktökningens beroende av koldioxidkoncentrationen för sallat



2.5 Chrysanthemum

Vid odling av blommor är det framför allt plantornas kvalitet som är viktig. Undersökningar har visat att chrysanthemum ökar sin kvistvikt med 10 - 15 % om CO₂-halten ökas från 300 till 900 ppm under odlingen (ref 1). Man har också kunnat konstatera en snabbare utveckling av plantorna. Skörden har kunnat ske 3 - 4 dagar tidigare.

Chrysanthemum är mycket känslig för höga halter av etylen.

2.6 Plantupptragning

Genom tillförsel av CO₂ kan man uppnå både tids- och kvalitetsvinst. En förhöjd CO₂-halt, från 330 till 600 - 700 ppm, under tiden för plantupptragningen har inneburit att tiden kunnat förkortas med 10 % (ref 1).

Förutom denna tidsvinst kan man också höja plantans kvalitet genom tillförsel av CO₂.

En högre kvalitet innebär att torrsubstanshalten blir högre och bladen tjockare. Detta medför att plantan bättre kan klara strapatser. Framför allt håller de nedersta bladen sig gröna längre.

Speciellt under vinterperioden är en CO₂-halt på ca 500 ppm viktig. Högre halter ökar risken för skador samt kan hämma öppningen av plantans klyvöppningar.

3 Metoder för tillförsel av CO₂

3.1 Allmänt

Förr utgjorde organiskt material (gödsel och halm) samt förbränning av fotogen eller propangas källor för CO₂-produktion. I dag dominerar inköpt CO₂ på tank som försörjningskälla till växthus i Sverige.

I Holland började man redan under tidigt 1960-tal att använda naturgas som energibärare till hushåll och industri. Genom förbränning av naturgas kan man producera mycket rena avgaser innehållande bl a CO₂. Sådana avgaser har därmed blivit en viktig CO₂-källa för den holländska växthusnäringen.

I och med övergången till odling i stenull fick en ökad CO₂-tillförsel större betydelse. Användning av organiskt material i växthusodlingar försvann och samtidigt täckte man marken med betong eller plastfolie.

Under början av 1980-talet kom också apparater på marknaden som gjorde att man noggrannare kunde kontrollera och styra CO₂-tillförseln.

Det senast steget i utvecklingen är att via en dator optimera den ekonomiska nivån på CO₂-tillförseln vid olika klimatförhållanden.

De resultat av olika undersökningar som redovisats under avsnitt 2, visar entydigt på en positiv effekt av en ökad CO₂-halt i växthusen. Det gäller då att på ett effektivt och billigt sätt tillföra CO₂ så halten kan hållas på de önskade, förhöjda nivåerna.

3.2 Koldioxidens fysikaliska egenskaper

Koldioxid är en färglös, luktfri gas som inte är giftig. Hygieniska gränsvärdet är enligt Arbetskyddsstyrelsens författningssamling AFS 1990:13 5 000 ppm.

CO₂ i gasform (0 °C, 1 013 mbar) har densiteten 1,98 kg/m³ och är därmed ca 1,5 ggr tyngre än luft.

Kokpunkten vid normalt atmosfärstryck är -78 °C. Vill man förvara CO₂ i flytande form vid normal omgivningstemperatur krävs ett övertryck av minst 73 bar.

3.3 Koldioxidkällor

Redan i inledningen gavs exempel på olika CO₂-källor som använts och används i växthusnäringen.

Under de senaste 20 åren har, utan undantag, de svenska växthusen använt sig av inköpt CO₂ som förvaras på tank och distribueras till växthusen under tryck.

En annan intressant CO₂-källa är, som nämnts tidigare, förbränningsgasen från framför allt naturgas.

3.3.1 Extern leverans till tank

Fördelarna med att använda inköpt CO₂ som förvaras på tank är bl a att man

- Kan göra doseringen oberoende av värmesystemet
- Lätt kan fördela CO₂ i växthuset

Nackdelarna med tankförsörjningen är bl a att:

- Produkten är dyr
- Optimal produktion ofta ej uppnås. Det höga priset medför att man doserar för liten mängd.

3.3.2 Förbränningsgaser

All förbränning av fossilt material producerar koldioxid och värme. Bränslets renhet tillsammans med styrningen av förbränningsförloppet avgör om avgasernas sammansättning är sådan att de kan användas som CO₂-källa vid växtodling.

Ett bränsle kan förutom kolväteföreningar innehålla ämnen som t ex svavel och andra föroreningar. I samband med förbränningen kan också ytterligare förorenande ämnen bildas, som t ex NO_x, CO och oförbrända kolväteföreningar. Då förbränningsgaserna skall användas för CO₂-tillförsel till ett växthus, är det från växtskyddssynpunkt speciellt viktigt att hålla etylenhalten (C₂H₄) låg. Från arbetsskyddssynpunkt är det viktigt att halterna av CO₂, CO, NO_x och PAH hålls väl under gällande hygieniska gränsvärden.

Naturgas innehåller i sig inga förorenande ämnen, som påverkar avgasernas sammansättning negativt. Genom speciell utformning eller teknikval för brännaren kan också halterna av föroreningar, som bildas vid förbränningen, hållas på en acceptabelt låg nivå.

Vid förbränning av 1 m³ naturgas erhålls 2,2 kg CO₂ (ca 1,1 m³) och 1,5 kg vattenånga. Det undre värmevärdet för naturgas är 10,8 kWh/m³ n. Denna värmemängd utvecklas således vid förbränningen.

Vill man tillföra CO₂, som producerats genom förbränning av naturgas, till växthuset kan det ske antingen genom placering av speciella gasbrännare i växthuset eller genom att leda avgaser från den centralt placerade värmepannan in i växthuset.

3.2.1 "CO₂-generator". Naturgasbrännare placerade i växthuset

Den här typen av brännare är placerad inne i växthuset och förbränningsgaserna går således direkt ut i växthuset och blandas där med luften. Det innebär också att all värme, som utvecklas vid förbränningen, tillförs växthuset. Ursprungligen användes dessa brännare för uppvärmning av kallhus.

En ny typ av dessa brännare, s k låg-NO_x-brännare, med bättre förbränningsegenskaper och lägre emissioner, har kommit på marknaden under slutet av 80-talet. Tanken är att dessa skall kunna användas som en billig metod för att tillföra CO₂ till växthuset.

På marknaden finns för närvarande ett antal fabrikat av låg-NO_x-typen. Två av dessa är av holländsk tillverkning: Priva Low NO_x och Holland Heater Low NO_x, en tredje är av dansk tillverkning: Twin Heat.

Gemensamt för alla brännarna är att de är försedda med en kraftig fläkt för spridning av avgaserna i växthuset. De holländska apparaterna använder ett högt luftöverskott i förbränningen vilket ger en låg förbränningstemperatur och därmed låga NO_x-emissioner. Den dankskiltverkadé brännaren är en s k fiberbrännare där en blandning av gas och luft förbränns på ytan av en speciell fibermatta. Fibermattan värms kraftigt och strålar bort värmen till omgivningen, varvid avgaserna kylls och NO_x-emissionerna hålls på en låg nivå. Dessa moderna låg-NO_x-brännare ger en reduktion av kväveoxiderna (NO_x) i avgaserna med ca 80 % jämfört med tidigare brännarekonstruktioner.

Prov med dessa brännare har utförts både i Danmark och Holland, se tabell 3.1.

Tabell 3.1 Analys av förbränningsgaser från Priva Low NO_x och Twin Heat.
Danska försöksresultat

	<u>Priva</u>	<u>Twin Heat</u>
CO ₂	7,8 %	9,2 %
NO _x	5,6 ppm	6,6 ppm
CO	10,6 ppm	11,8 ppm

Naturgaseldad panncentral

Om växthuset är försett med en naturgaseldad panncentral kan en del av förbränningsgaserna ledas till växthuset och utnyttjas för CO₂-gödsling.

Vanligtvis kylls förbränningsgaserna innan de leds in i växthuset. Därvid kondenserar en del av fukten ut vilket underlättar regleringen av fukthalten i växthuset.

Ledningen till växthuset kan bestå av ett PVC-rör som sedan förgrenas ut i klenare, perforerade plastfolieslangar som löper på golvet mellan plantraderna.

En egenskap hos CO₂-gödsling av denna typ är att producerad mängd CO₂ står i direkt proportion till producerad mängd värme i pannan. Vid tider då behovet av CO₂ är stort men behovet av värme är litet skulle man således behöva kyla bort en stor del av pannans värme till ingen nytta. Genom att förse systemet med en värmeackumulator kan denna nackdel undvikas. I ackumulatören, som i sin enklaste form utgöres av

en varmvattentank, lagras överskottsvärmen för att sedan användas vid perioder då värmebehovet är stort och CO₂-behovet litet.

Ett konkret exempel på anläggning för CO₂-gödning med avgaser från en naturgaspanna ges i bilaga 1.

3.3.3 Andra källor

Vid tillförsel av CO₂ med förbränningsgaser har endast naturgas som bränsle behandlats ovan. Det är naturligtvis också möjligt att använda propan vid förbränningen, men svenska erfarenheter härav finns ännu inte.

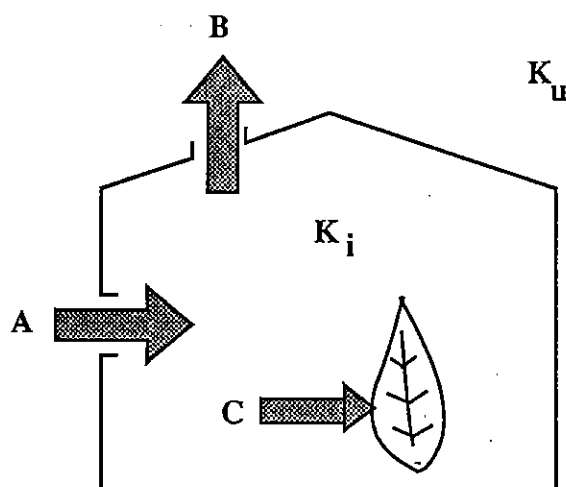
4 Beräkning av erforderlig CO₂-tillförsel

4.1 Allmänt

I detta kapitel skall redogöras för hur man med utgångspunkt från önskad CO₂-koncentration i växthuset kan räkna ut hur mycket "extern" CO₂ som måste tillföras växthusluften.

Förhållandena i växthuset illustreras av figur 4.1

Fig 4.1 CO₂-flöden och CO₂-koncentration i ett växthus



Figurbeteckningarnas innebörd är följande:

- K_i : CO₂-koncentrationen i växthusluften
- K_u : CO₂-koncentrationen i uteluften (normalt 340 ppm)
- A : Inmatat CO₂-flöde till växthuset
- B : CO₂ som ventileras bort, främst genom luftningsfönstren (Pilen kan även vara nedåtriktad om $K_u > K_i$)
- C : Av växterna upptagen mängd CO₂

För de tre storheterna A, B och C gäller det enkla sambandet

$$A = B + C \quad \dots (1)$$

För att kunna räkna ut erforderlig mängd tillförd CO₂ (A) måste vi således känna till

- ventilationsförlusterna (B) och
- plantornas nettoupptagning av CO₂ (C)

4.2 Ventilationsförluster

Om koncentrationen av CO_2 i växthusluften är K_i g/m³ och utanför växthuset K_u g/m³ ($K_i > K_u$) så innebär det att när 1 m³ luft "bytt plats" så har $(K_i - K_u)$ gram CO_2 försvunnit ut ur växthuset.

För att få den totala mängden CO_2 som försvinner måste vi således känna till den totala luftomsättningen i växthuset.

Vid en försökstation i Naaldwijk i Holland har man efter ett antal praktiska mätningar utarbetat en empirisk formel för beräkning av antalet luftväxlingar per timme:

$$V = 0,09 \cdot W \cdot (R + L) \quad \dots (2)$$

V: Antal luftväxlingar per timme

W: Vindhastighet i m/s

R: Luftningsfönstrens öppningsgrad i %

100 % svarar mot 66 cm öppning i en sida på ett Venloväxthus med två halva rutors luftningsfönster.

L: Växthusets otäthet i %

0,5 % svarar mot ett modernt, tätt växthus

2 % svarar mot ett äldre, mindre tätt växthus

För att tills vidare bli oberoende av växthusets yta anger vi i fortsättningen alla data per m² växthusyta.

Vi kan då räkna om antalet luftväxlingar per timme till antal utbytta m³ per timme och m² växthusyta genom att multiplicera V med medelhöjden i växthuset, H_{med} . Om vi anger koncentrationen av CO_2 i ppm får vi en slutformel för CO_2 -förlusten enligt nedan

$$B = V \cdot H_{\text{med}} \cdot (K_i - K_u) \cdot 0,0018 \quad \dots (3)$$

där

B: CO_2 -förlusten till omgivningen g/m², tim

V: Antal luftväxlingar per timme

H_{med} : Växthusets medelhöjd i meter

K_i : CO_2 -koncentrationen i växthusluften i ppm

K_u : CO_2 -koncentrationen i uteluften i ppm

0,0018: Omräkningsfaktor mellan ppm och g/m³

Räkneexempel

Antag vindhastigheten 4 m/s, luftningsfönstrens öppningsgrad 10 % och växthusets otäthet 1,4 %.

Enligt formel (2) blir då $V = 4,1$ luftväxlingar per timme.

Antag vidare att växthusets medelhöjd är 2,55 m, önskad CO_2 -koncentration i växthuset 500 ppm och CO_2 -koncentrationen i uteluften 340 ppm.

Med dessa värden insatta i formel (3) får vi

$$B = 4,1 \cdot 2,55 \cdot (500 - 340) \cdot 0,0018 = 3 \text{ g/m}^2, \text{ tim}$$

Detta är alltså CO₂-förlusten till omgivningen per m² växthusyta med de givna förutsättningarna.

Om CO₂-halten i växthuset hade varit lägre än omgivningens, t ex 250 ppm, hade vi istället fått ett inflöde av CO₂, i det här fallet = -1,7 g/m², tim.

4.3 Plantornas CO₂-upptagning

En plantas nettoupptagning av CO₂ sammanhänger med aktiviteten hos plantans fotosyntes. Denna är i sin tur beroende av ett antal omgivningsfaktorer av vilka temperatur, ljus och CO₂-halten i omgivningsluften redan nämnts. Andra faktorer är fukthalten i omgivningsluften samt plantans egen temperatur. Plantans totala CO₂-upptagning är därutöver naturligtvis beroende av bladverkets totala yta.

Det finns ingen enkel formel som beskriver CO₂-upptagningens beroende av de uppräknade faktorerna. I tabell 4.1 visas resultatet av beräkningar som gjorts för en gurkkultur av Lantbruksuniversitetet i Wageningen i Holland. Vid beräkningen har man utgått från en bladnya av 3 m² per m² växthusyta.

Tabell 4.1 CO₂-upptagning i gurkkultur med bladnya 3 m² per m² växthusyta

Ljusintensitet i W/m ²	CO ₂ -kon- centration i ppm	CO ₂ -upptagning i g/m ² , tim
0	340	- 0,23
20	200	0,11
20	340	0,20
20	1.000	0,32
100	200	1,14
100	340	1,59
100	1.000	2,31
400	200	3,00
400	340	4,49
400	1.000	7,82

Av tabellen framgår att nettoupptagningen varierar kraftigt med ljusintensitet och CO₂-halt vid konstanta övriga klimatfaktorer.

Ett negativt värde på nettoupptagningen förekommer vid ljusintensiteten 0, dvs på natten. Plantorna avger då CO₂ genom andningen.

Ett antal undersökningar (ref 1) har visat att nettoupptagningen av CO₂ i medeltal för en gurkodling med bladytan 3 m² per m² växthusyta, ligger vid ca 4,5 g/(m² växt-husyta • tim).

Exempel

Utgå från en relativt ljus dag och samma CO₂-halt i växthuset som i det tidigare räkneexemplet, dvs 500 ppm. En relativt ljus dag motsvarar en ljusintensitet på ca 350 W/cm².

Genom interpolation i tabell 4.1 kan man då få fram att CO₂-upptagningen i en gurk-kultur uppgår till ca 5 g/(m² växthusyta • tim).

4.4 Totalt CO₂-behov

Genom att lägga samman CO₂-förlusterna genom ventilation och plantornas CO₂-upptagning får vi fram det sammanlagda, externa CO₂-behovet (A i formel 1).

I räkneexemplen ovan blir således det sammanlagda CO₂-behovet

$$A = 3 + 5 = 8 \text{ g/(m}^2 \text{ växthusyta} \cdot \text{tim)}$$

Om växthuset antas ha en yta på 1000 m² blir totalbehovet 8 kg CO₂/tim.

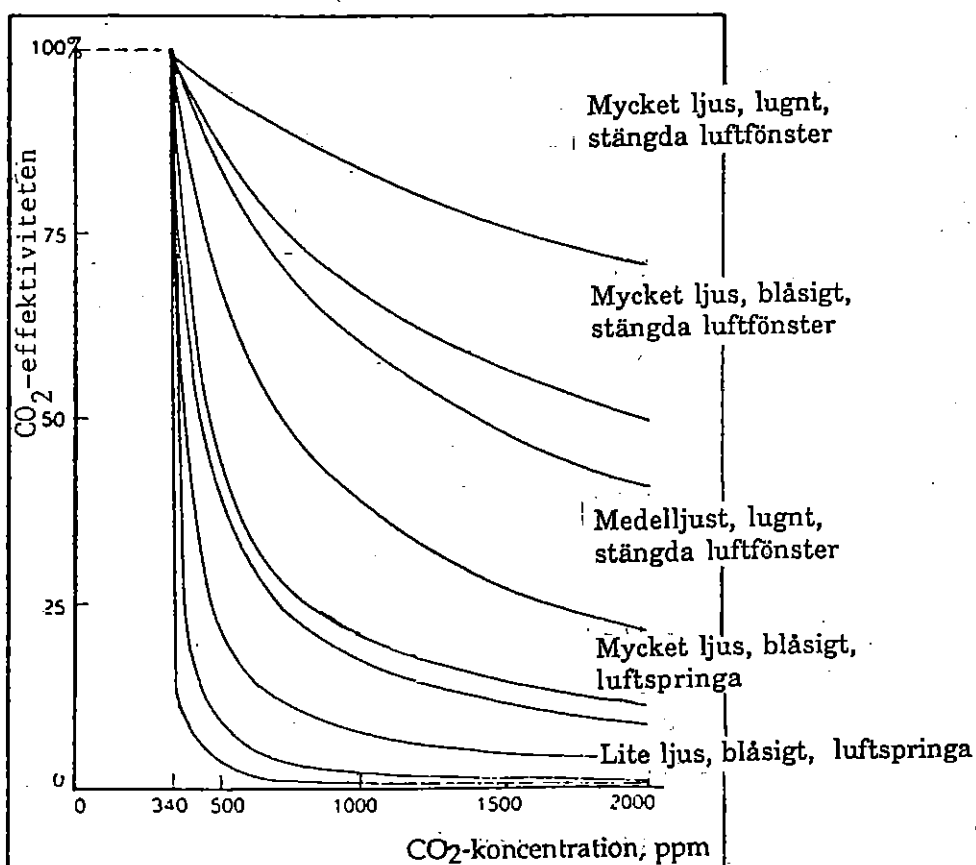
Man brukar ibland tala om CO₂-tillförselns effektivitet för en given tidsperiod. Denna effektivitet definieras som plantornas nettoupptagning av CO₂ i förhållande till den till växthuset tillförda CO₂-mängden under tidsperioden ifråga.

Ser vi till den timme för vilken beräkningarna ovan gjorts, blir CO₂-tillförselns effektivitet (η_{CO_2})

$$\eta_{\text{CO}_2} = 5/8 = 63 \%$$

I fig 4.4.1 finns exempel på CO₂-tillförselns effektivitet vid olika vädersituationer och önskade CO₂-halter i växthuset.

Fig 4.4.1 CO₂-tillförselns effektivitet vid olika vädersituationer och önskade CO₂-halter i växthuset



5 Påverkan på växthusluften vid CO₂-gödsling med förbränningsgaser

5.1 Förbränningsprodukter

Vid förbränning av ett bränsle kan, förutom förbränningsprodukterna koldioxid och vatten, också bildas ett antal oönskade, skadliga föreningar. En del av dessa uppstår framför allt om förbränningen är ofullständig och inte sker på ett optimalt sätt. Dessa föreningar är framförallt ett antal oförbrända kolväten, som t ex etylen (C₂H₄), PAH:n fl, och koldioxid (CO). Vidare kan kväveoxider bildas. Dessa uppstår dock som en oxidationsprodukt av luftens kväve vid höga temperaturer och kommer i naturgasfallet inte från bränslet som sådant. När naturgas förbränns under optimala förhållanden och med bra teknik är förekomsten av de här nämnda skadliga föreningarna extremt låg, men man bör ändå vara uppmärksam på vilken inverkan de kan ha på växter och människor.

5.2 Förbränningsprodukternas påverkan på växter

5.2.1 Koldioxid

Olika växter kräver olika CO₂-halter för att tillväxten skall vara optimal. Högre CO₂-halter än de optimala kan ge skador på plantorna.

Vid ökande CO₂-halt kommer bladens klyvöppningar successivt att stängas. Denna process startar vid en CO₂-halt av ca 500 ppm och är vid ca 2 000 ppm mycket uttalad.

Då klyvöppningarna stängs minskar avdunstningen från plantan, vilket i sin tur medför en minskad vatten- och näringsström i plantan. Uptagningen av näringsämnen sjunker således.

En mörk dag kan det vara önskvärt att stimulera avdunstningen från bladen och under sådana omständigheter kan en hög CO₂-halt hämma avdunstningen. Då kan det vara lämpligt att sänka CO₂-halten så att avdunstningen från bladen ökar.

Även soliga, varma dagar kan det vara nödvändigt med en hög avdunstning för att kyla plantorna, och även då kan det vara tillrådligt att inte hålla för höga CO₂-halter.

Plantor, som är i mindre bra kondition, reagerar kraftigt vid höga CO₂-halter genom att stänga klyvöppningarna. I ett sådant fall kan bladtemperaturen öka alltför mycket och samtidigt sjunker den relativa fuktigheten i växthuset, vilket kan medföra bladskador (celldöd).

Prov har visat att vid för höga CO₂-halter kan bladen innehålla så mycket som 25 % mindre näringsämnen än normalt. Denna försvagade bladvävnad är mycket känslig för klimatförändringar framför allt när det blir kraftigt solsken. Då kan bladvävnaden dö.

Skador av den art, som diskuterats ovan, uppstår endast om för höga CO₂-halter har förekommit i växthusen under lång tid, en vecka eller mer. Höga halter under en eller två dagar förorsakar inte sådana skador.

Plantorna blir också mindre känsliga för höga CO₂-halter längre fram under växtsäsongen. Det bästa är att starta kulturen med en CO₂-halt på 500 - 600 ppm under vintern och därefter i april höja till 700 - 800 ppm.

5.2.2 Etylen (C_2H_4)

Etylen är en gas, som redan vid låga koncentrationer kan ge skador på plantor. Ämnet finns naturligt i plantorna i mycket låga koncentrationer, och styr där mognads- och åldrandeprocesserna. Om etylenhalten ökar kan dessa processer påskyndas alltför mycket. Exempel på skador, som kan uppstå, är blomfall på tomat, sämre utveckling av sidoskott på chrysantemum samt för snabbt gulnande blad hos alla typer av växter.

Som ett allmänt riktvärde kan anges att etylenhalten aldrig får överstiga 0,05 ppm (50 ppb). I vissa fall kan skador uppstå även vid halter under 50 ppb (ref 1).

Mätning av etylenhalten är mycket svår att utföra och kan egentligen endast utföras på laboratorium. Det är därför intressant att konstatera att det finns ett samband mellan förekomst av etylen och koloxid, båda uppstår vid ofullständig förbränning. Eftersom mätning av koloxid är enklare och billigare (se avsnitt 5.2.3) än mätning av etylen kan man använda koloxidhalten som en indikator på etylen.

Etylen är i måttlig koncentration inte skadligt för människor.

5.2.3 Koloxid (CO)

Koloxid är en luktfri, giftig gas. Den kan, som nämndes i föregående avsnitt, användas som indikator på andra ämnen som bildas vid ofullständig förbränning.

CO-halten bör kontinuerligt övervakas i växthuset eller i den rökgas som tillförs. Sker mätningen i de oförtunnade rökgaserna bör halter över 30 ppm CO ej tillåtas.

På marknaden finns två typer av CO-mätare. En av dessa mätare bygger på en elektrokemisk princip, den andra innehåller en halvledare. Kostnaden för de apparater, som förekommer på den svenska marknaden, och även den holländska, ligger på ca 15.000 kr. För båda typerna är det viktigt att man sköter översyn och kontroll enligt tillverkarnas anvisningar. Minst två gånger per år måste mätarna kalibreras.

Det finns också enklare handmätare med indikatorrör, som påvisar CO genom en färgförändring (typ Dräger-rör). Dessa kan endast användas vid punktvisa mätningar och ej för kontinuerlig övervakning.

När den inställda larmgränsen, t ex 30 ppm i outspädd rökgas, överskrids måste tillförseln av förbränningsgaser, och därmed CO_2 -gödslingen, avbrytas tills felet åtgärdats.

5.2.4 Kväveoxider (NO_x)

Den kväveoxid som bildas vid förbränning av naturgas uppstår vid oxidation av luftens kväve. Andra bränslen, som olja eller kol, innehåller i sig föreningar som ger upphov till kväveoxider vid förbränning. Detta innebär att kväveoxidbildningen är lägre vid naturgasförbränning och också lättare att kontrollera och reducera genom förbränningstekniska åtgärder.

I praktisk odling kan det vara svårt att påvisa om t ex kväveoxider har en tillväxthämmande effekt. Därför har man på olika håll genomfört undersökningar med syfte att under kontrollerade betingelser klarlägga vilka problem som kväveoxider kan medföra i en växthusodling.

Vid försöksstationen för växthusodling i Naaldwijk i Holland samt vid engelska och norska försöksstationer har man kommit fram till ett antal negativa effekter av kväveoxider.

Framför allt verkar kväveoxider hämmande på fotosyntesen med lägre skördar som följd. Vissa undersökningar har visat att en ppm (1 000 ppb) NO_x totalt kan eliminera den positiva effekten av ca 1 000 ppm CO_2 (ref 1). Andra undersökningar har visat att om man i ett försöksväxthus håller CO_2 -nivån på 350 ppm och tillför 1,0 ppm NO_x så reduceras fotosyntesen med 38 %.

Det kan finnas stora skillnader i känslighet mellan olika växtslag. Tomat är t ex ett av de mest känsliga växtslagen.

Det framgår alltså att man måste vara försiktig vid tillförsel av förbränningsgaser till växthuset så att inte NO_x -halten når skadliga nivåer.

Då man höjer CO_2 -halten i växthuset genom att dosera större mängd förbränningsgas, höjer man också normalt NO_x -halten. Därför är det viktigt att dels inte överdriva CO_2 -tillförseln, dels ha sådan förbränningsutrustning att innehållet av kväveoxider i förbränningsgaserna ligger på så låg nivå som möjligt.

5.2.5 Känslighetsgränser för växter

Vid Växtskyddsinstitutet IPO i Vageningen i Holland har man sammanställt gränsvärden i växthusluft för olika föroreningar som kan skada växterna. De föreslagna gränsvärdena framgår av tabell 5.1.

Tabell 5.1 Känslighetsgränser för växter i ppm

Ämne i växthus- luften	Akut nivå	Långtids- nivå
NO	1,0	0,25
kväveoxider NO_x		
NO_2	0,6	0,1
C_2H_4 Etylen	0,05	0,02
CO	--	--
O_3 Ozon	100	28
SO_2	70	15

5.3 Förbränningsprodukternas betydelse för arbetsmiljön

5.3.1 Lagstiftning och myndigheter

De grundläggande reglerna för arbetsmiljöns utformning ges i Arbetsmiljölagen, som i sin senaste lydelse antogs av Riksdagen 1991. I anslutning till lagen har också regeringen utfärdat en Arbetsmiljöförordning, som bl a reglerar arbetsgivarens skyldighet att till tillsynsmyndigheten anmäla ärenden som berörs av Arbetsmiljölagen. Vidare bemyndigas Arbetsarkyddsstyrelsen (ASS) att utfärda föreskrifter som fastställer gränsvärden för farliga ämnen.

Arbetsmiljölagen talar också om vilka som är tillsynsmyndigheter med ansvar för att Arbetsmiljölagen och utfärdade föreskrifter efterlevs. Detta är ASS och, under dess överinseende och ledning, Yrkesinspektionen (YI). På regional nivå är det YI som behandlar arbetsmiljöärenden, och det är till YI som anmälan skall göras om man t ex ämnar CO₂-gödsla sitt växthus med förbränningsgaser.

5.3.2 Hygieniska gränsvärden

Den kungörelse, som är aktuell när det gäller tillförsel av förbränningsgaser till ett växthus, är AFS 1990:13 "Hygieniska gränsvärden". Här ges föreskrifter när det gäller verksamhet, där ämnen som är upptagna i gränsvärdeslistan, bildas eller hanteras.

I kungörelsen sägs bl a "Arbete skall planeras och bedrivas så att expositionen för ämnen, som kan föranleda ohälsa, blir så låg som möjligt. Halten luftförorening i inandningsluften skall vara godtagbar med hänsyn till de gränsvärden som är upptagna i AFS 1990:13".

I tabell 5.2 nedan följer ett utdrag ur gränsvärdeslistan, där de ämnen som i första hand är aktuella i det här sammanhanget, har tagits med.

Tabell 5.2 Hygieniska gränsvärden (nivågränsvärden) enligt AFS 1990:13 för ämnen som kan bildas vid förbränning av naturgas.

Ämne	Nivågränsvärde	
	ppm	mg/m ³
Koldioxid	5 000	9 000
Kolmonoxid	35	40
Kvävedioxid	2	4
Kvävemonoxid	25	30
Svaveldioxid	2	5
Benso(a)pyren	–	0,005
Formaldehyd	0.6	0.5

5.3.3 Mätanvisningar

På uppdrag av Nordisk Gastekniskt Center utarbetade IVL (Institutet för Vatten och Luftvårdsforskning) 1991 ett mätprogram för kontroll av arbetsmiljön vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus. Mätprogrammet har diskuterats med Arbetarskyddsstyrelsen i Sverige och motsvarande myndigheter i Norge, Danmark och Finland och fått ett positivt bemötande.

Mätningar enligt detta program görs på initiativ av växthusägare eller när myndigheter kräver det.

Programmet är indelat i två nivåer:

Nivå 1, som omfattar mätning av koldioxid-, kolmonoxid- och kvävedioxidhalter. Mätningar bör i första hand omfatta denna nivå.

Om särskilda skäl föreligger kan mätningar utföras enligt:

Nivå 2, som förutom mätningarna enligt nivå 1, omfattar andra ämnen som förväntas förekomma i låga halter. Exempel på sådana ämnen är kvävemonoxid och benzo(a)pyren eller PAH och formaldehyd.

Mätprogrammet finns närmare beskrivet i bilaga 2, som är en rapport från Nordisk Gasteknisk Center, februari 1991: "Mätprogram. Arbetsmiljöförhållanden vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus". Denna rapport kan användas t ex vid kontakter med myndigheter och konsulter.

5.3.4 Utförda mätningar

Vid Nygaards Trädgårdsodlingar i Halmstad sker, som tidigare nämnts, koldioxidgödsling med hjälp av förbränningsgaser från en naturgaseldad panncentral. I samband med drifttagning av anläggningen gjordes ett antal mätningar för att klarlägga halten av hälsofarliga luftburna ämnen i växthuset under de tider CO₂-gödsling pågår.

Resultatet redovisas i bilaga 3. Sammanfattningsvis kan sägas att samtliga värden låg långt under stipulerade hygieniska gränsvärden. Så t ex låg NO-halten vid maximalt 0,3 ppm vilket kan jämföras med nivågränsvärdet 25 ppm. NO₂-halten låg vid 0,1 ppm vilket kan jämföras med nivågränsvärdet 2 ppm.

6 CO₂-doseringsmetoder och mängder

Vid odling är normalt en odlingsfaktor produktionsbegränsande. Det kan t ex vara ljusintensiteten, temperaturen eller CO₂-halten. Om ljus eller temperatur är den begränsande faktorn har självklart en ökad tillförsel av CO₂ ingen produktionshöjande effekt.

På våren och sommaren är det dock ofta CO₂-halten som är produktionsbegränsande. Det gäller då att öka halten genom extern tillförsel av CO₂. Utgående från priset på CO₂ (alternativt kostnaden för att själv producera CO₂) och förväntad skördeökning gäller det då att optimera tillförseln.

6.1 Dosering av ren CO₂ från tank

Doseringen av CO₂ till växthuset styrs ofta av en s k klimatdator. Vid försöksstationen i Naaldwijk, Holland, har man gjort försök med speciellt utformade optimeringsprogram för CO₂-tillförsel för den här typen av datorer.

Optimeringsprogrammet räknar ut ekonomiskt optimal CO₂-tillförsel genom att väga kostnaderna för att upprätthålla en viss CO₂-halt i växthuset, utgående från fotosyntes, ventilationsförluster och priset för CO₂ mot intäkterna från skördeökningen.

Intäkterna beräknas ur förväntad skördeökning vid en viss CO₂-halt för den aktuella odlingen samt det gällande produktpriset.

Den ovan beskrivna principen för optimering av CO₂-tillförseln har prövats i praktiken vid Naaldwijk.

Ett försök, som redovisats därifrån, gällde en gurkodling. Försöket omfattade tiden 14 januari till den 9 juni och genomfördes i fyra avdelningar där CO₂-halten styrdes på olika sätt:

Avdelning 1:	Konstant CO ₂ -halt	300 ppm
Avdelning 2:	Konstant CO ₂ -halt	500 ppm
Avdelning 3:	Optimering, lågt CO ₂ -pris	65 öre/kg CO ₂
Avdelning 4:	Optimering, högt CO ₂ -pris	120 öre/kg CO ₂

Resultatet av detta försök blev att man uppnådde ungefär samma skördenivå i avdelningarna 2 och 3. CO₂-förbrukningen i avd 3 blev dock ca 25 % lägre än i avd 2.

Skörderesultatet i avdelningarna 2 och 3 blev ca 11 % högre än i avd 4 och 30 % högre än i avd 1. Totalt sett gav alltså avdelning 3 bäst resultat, samma skörd som i avd 2 men till lägre kostnad.

Ett väl utformat optimeringsprogram för CO₂-tillförsel kan alltså ge en hög skörd med en väsentligt minskad CO₂-förbrukning.

6.2 Dosering av CO₂ ingående i förbränningsgaser

När ett optimeringsprogram, som skall styra CO₂-tillförseln från en naturgaseldad panncentral utformas, bör man som bas ha tre olika styrnivåer för CO₂-halter i växthuset: Hög nivå, Låg nivå och Miniminivå.

6.2.1 Hög CO₂-nivå

När panncentralen är i drift för att värma växthuset kan man i princip dosera CO₂ till den nivå man önskar, förutsatt att fördelningssystemet räcker till. I denna driftsituation kan CO₂ betraktas som nästan gratis. En normal nivå bör vara ca 700 ppm.

6.2.2 Låg CO₂-nivå

Om panncentralen inte längre behöver vara i drift för att ge värme till växthuset så innebär detta att priset på CO₂ ökar. Vid drift av pannan enbart för CO₂-produktion kan värme lagras in i en eventuell värmeackumulator. Dess kapacitet är dock begränsad varför även CO₂-produktionen är begränsad. Därför bör inställning på en lägre CO₂-nivå i växthuset ske, t ex 450 ppm.

6.2.3 Minimi CO₂-nivå

På sommaren när man måste lufta mycket i växthuset ställer man in en miniminivå på CO₂-halten. Denna nivå hålles i regel lika med utenivån, 340 ppm. Under denna period måste värmeackumulatorm användas, om en sådan finns.

Andra parametrar som bör påverka CO₂-tillförseln är ljusinstrålningen och öppningsgraden hos luftfönstren. Vid hög ljusinstrålning bör datorn ställa in en högre CO₂-halt i växthuset. Omvänt gäller vid stor öppningsgrad hos luftfönstren.

6.3 Praktiskt exempel

I tidigare kapitel (kap 3 och 4) visades vilka faktorer som påverkar CO₂-förbrukningen i ett växthus.

Med vissa antaganden om ljusintensitet, typ av plantor, plantornas bladmassa, ventilation m m kan man som ett exempel räkna fram CO₂-förbrukningen vid olika halter i växthuset. I tabell 6.1 visas resultatet av en sådan beräkning för en gurkodling. CO₂ tillförs med avgaser från en naturgaseldad panncentral och tillgänglig mängd CO₂ bestäms av värmeåtgången under olika månader på året. Vidare antages att värmesystemet innehåller en ackumulatortank på 90 m³, vilket kan utjämna värme-, och därmed CO₂-produktionen över dygnet. Ljusintensiteten antages vara den som vi normalt har under olika årstider.

De CO₂-halter, som man i exemplet strävar efter att hålla, är 340 resp 600 ppm. CO₂-förbrukningen uttrycks i kg CO₂ per ha (10 000 m²) växthusyta och timme.

Beräkningsexemplet visar att mycket stora mängder CO₂ måste tillföras under sommaren, speciellt om man vill hålla en, jämfört med uteluften, förhöjd nivå.

Tabell 6.1 Exempel på beräkning av CO₂-förbrukning i en gurkodling

Månad	CO ₂ -förbrukning i kg/ha, h vid		Tillgänglig CO ₂ i kg/ha, h	
	340 ppm	600 ppm	utan ack	90 m ³ ackum
Febr	25	46	207	341
Mars	35	56	163	275
April	50	102	84	181
Maj	55	192	26	112
Juni	60	229	20	78
Juli	60	366	9	47
Augusti	55	365	9	45
Sept	50	327	13	59
Okt	40	258	32	112

Man kan i tabellen 6.1 också se att man under juli och augusti inte ens kan hålla CO₂-halten på 340 ppm i växthuset även om man har tillgång till en ackumulator tank på 90 m³ för växthusarean 1 ha.

Ett annat beräkningsexempel, som gäller för en tomat- och gurkodling, visar på vilka intäktsökningar man kan nå genom förhöjda CO₂-halter under växtperioden.

Om man räknar med att normalintäkten för perioden maj till september för en sådan odling ligger på ca 250 kr/m² utan CO₂-tillförsel så kan man räkna ut intäktsökningen om förhöjda halter av CO₂ hålles. I exemplet har använts nivåerna 340 ppm, 400 ppm och 500 ppm. Resultatet redovisas i tabell 6.2 och man kan där utläsa att vid tillförsel av CO₂ under perioden maj - augusti så kan man uppnå betydande intäktsökningar.

Tabell 6.2 Skörde- och intäktsökning vid tillförsel av CO₂ under perioden maj-september

CO ₂ -halt ppm	Skördeökning %	Intäktsökning kr/m ²
340	8	20
400	14	35
500	23	57

6.4 Kostnader för CO₂-tillförsel

Kostnader som anges nedan i tabell 6.3 gäller för 1991 och är beräknade för tre olika system:

- A: CO₂ från naturgaseldad central utan ackumulator
 B: - " - med - " -
 C: CO₂ inköpt och förvarad på tank.

Beräkningen av kapitalkostnaden är gjord för ett system av den typ som beskrivs i bilaga 1. Investeringen är beräknad till 40 kr/m² växthusyta i alternativ A och 60 kr/m² växthusyta i alternativ B. I alternativ C utgöres investeringen av kostnaden för CO₂-tank och distributionssystem för inköpt CO₂.

Förutsättningen för beräkningen är också att man skall upprätthålla nivån 340 ppm CO₂ i växthuset och att man i alternativ B förfogar över en ackumulatortank på 90 m³ för växthusarean 1 ha.

Tabell 6.3 Beräkning av totalkostnad för CO₂ tillförsel med olika system.

Kostnadspost	Kostnader i kr/(m ² x år)			
	Alt:	A	B	C
Kapitalkostnad		12	17	5
El fördelningsfläkt		2	2	–
Värmeförlust från ackumulator		–	1	–
Gas för CO ₂ -prod dagtid		10	–	–
CO ₂ från tank		–	–	25
Totalt		24	20	30

Beräkningsexemplet visar, att med de förutsättningar om kapitalkostnader, förbrukningar m m som använts, så är kostnaden lägst i alternativ B, dvs med naturgaseldad panncentral och ackumulator.

Det bör också påpekas att eftersom den rörliga kostnaden är avsevärt lägre i de system där CO₂ produceras från naturgaseldning än i system med inköpt CO₂ är det optimalt att för systemen enligt alternativ A och B hålla en högre CO₂-halt i växthuset jämfört med C.

7 Mätinstrument och bevakning av CO₂-nivån

Det är viktigt att CO₂-koncentrationen i växthuset kan mätas med god noggrannhet. Detta måste göras, dels för att förhindra att alltför höga CO₂-halter leder till skador på växterna, dels för att man skall kunna reglera CO₂-halten till önskad nivå.

Ett fel i mätningen av CO₂-halten på 50 ppm vid en önskad halt av 340 ppm kan medföra om halten är lägre än 340 ppm att man utnyttjar anläggningen dåligt och förlorar skördetillväxt. Omvänt om halten ligger högre förlorar man värdefull CO₂, speciellt på sommaren med höga ventilationsförluster.

I de flesta svenska odlingar används en CO₂-mätare som tillverkas av Siemens. Mätområdet är 0 - 3 000 ppm. Mätaren används också som givare vid reglering CO₂-halten i växthuset. Mätningar sker då kontinuerligt på en punkt.

Med hjälp av en sk scanner (utrustning som skiftar mellan olika mätpunkter) finns också möjlighet att mäta på flera punkter i ett växthus eller i flera växthus.

Om man mäter CO₂-koncentrationen i flera punkter såväl vertikalt som horisontellt i ett växthus upptäcker man att koncentrationen varierar. Till detta finns flera orsaker. Den

vertikala skillnaden beror ofta på att växthuset är tätt och att inga vertikala luftströmmar uppstår inne i huset. Därför sker ingen omblandning av luften i höjdlid, som kan föra ned CO₂ från de övre delarna av växthuset till växterna.

De horisontella skillnaderna kan bli bero på någon av följande orsaker:

- Ojämn dosering av CO₂. Detta kan ha som orsak att PVC-slangarna, som används för fördelning av CO₂, är för långa i förhållande till sin diameter, att trycket i slangarna är för lågt eller att de har för många hål i förhållande till totalflödet.
- Ojämn ventilation som gör att olika stor mängd CO₂ försvinner ur olika delar av växthuset.
- Läckage i en central fördelningsledning.
- Rökgaserna slår ned från skorstenen och ger höga CO₂-halter på vissa ställen i växthuset.

De ojämnheter i CO₂-koncentration, som normalt förekommer i ett växthus, är i regel inte så stora att de kan ge några växtskador, men de medför att effektiviteten hos CO₂-tillförseln försämras. Därför är det viktigt att göra klart för sig vilka variationer man har i sitt växthus och ta hänsyn till dessa när man bestämmer mätpunkten för CO₂-koncentrationen.

För att åstadkomma en representativ mätning, är inte enbart placeringen av mätpunkten av stor betydelse, utan naturligtvis också den mätnoggrannhet som instrumentet har. Det är viktigt med underhåll och tillsyn av mätaren samt kalibrering. Denna bör utföras minst var tredje månad och genomföras med hjälp av speciell kalibreringsgas, inte enbart uteluft.

8 CO₂-gödsling med avgaser från motor

Det kan i vissa fall vara ekonomiskt intressant att installera en gasmotor med generator för samtidig produktion av el och värme till sitt växthus. Man måste då var medveten om att avgaserna från en gasmotor har en helt annan sammansättning än från en panncentral. Halten av olika föroreningar är mycket högre, vilket framgår av tabell 8.1.

De reningsmetoder, som används i dag, för att ta bort föroreningar från gasmotorer är dels dyra, speciellt för motorer i de storlekar som här är aktuella, dels är reningsgraden inte tillräcklig för att de renade avgaserna skall kunna användas i en växtodling. Forskning pågår inom området men det är osäkert om vi i framtiden får fram metoder som gör det ekonomiskt möjligt att även använda motoravgaser för CO₂-gödsling.

Tabell 8.1 Rök-gassammansättning från naturgaseldad panna respektive gasmotor

	Pannin- stallation	Gasmotor
CO ₂	10 %	8 %
NO _x	40-60 ppm	660 ppm
CO	20-60 "	3000 "
Ethylen	0,2-0,5 "	45 "

9 Referenser

1. CO₂ in de kas
Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk
Consulentschappen voor de tuinbouw

Nygaards Trädgårdsodlingar AB, Halmstad BESKRIVNING AV SYSTEM FÖR CO₂-GÖDSLING

Inledning

Vid Nygaards Trädgårdsodlingar i Halmstad finns en anläggning som utnyttjar förbränningsgaserna från en naturgaspanna för CO₂-gödslingen. Den totala växthusytan är 19 500 m² och huvudprodukterna är gurka och prydnadsblommor. Anläggningen har varit i drift sedan 1990 och ger såväl kostnadsbesparingar som produktionsökning jämfört med om CO₂-gödslingen skulle skett med inköpt CO₂-gas på flaska.

Naturgaspannan är på 7 MW och klarar ensam växthusens värmebehov. Därutöver finns i reserv en äldre koleldad panna på 4 MW samt två oljeeldade pannor på tillsammans 3,4 MW.

Förutsättningar

Plantornas CO₂-upptagning ligger mellan 0 och 2 kg/h och 1 000 m² växthusyta, beroende på växtbetingelser typ ljus, vatten, värme och näringstillförsel. På grund av otätheter i växthusen kan det erfordras en tillförsel av ca 4 kg CO₂/h och 1 000 m², för att upprätthålla den önskade koncentrationen. Dessa förhållanden gäller när växthusens ventilationsfönster är stängda.

Under sommartid kan det under långa perioder vara nödvändigt att ventilerar bort en stor del av den utifrån instrålade värmen. CO₂-förlusten blir därmed så stor att det fordras tillförsel av stora mängder CO₂ för att den önskade koncentrationen skall kunna bibehållas. Behovet kan vara så stort som 25 kg CO₂/h och 1 000 m² växthusyta.

Med utgångspunkt härifrån sattes dimensioneringskriteriet för Nygaards trädgårdsodlingar till 11 kg CO₂/h och 1 000 m² i avdelningen för blommor och 18 kg CO₂/h och 1 000 m² i avdelningen för gurkor.

En egenskap hos CO₂-gödsling av här beskriven typ är att producerad mängd CO₂ står i direkt proportion till producerad mängd värme i pannan. Vid tider då behovet av CO₂ är stort men behovet av värme är litet skulle man således normalt behöva kyla bort en stor del av pannans värme till ingen nytta. En förutsättning för Nygaardsanläggningen var att man skulle kunna lagra en del av överskottsvärmen för att kunna utnyttja den under perioder då CO₂-behovet är lägre än motsvarande värmebehov. Detta har man löst genom att lagra varmvatten i en begagnad oljetank med en volym på 300 m³. I denna tank kan lagras den värme som produceras när pannan går 6,5 timmar med en CO₂-produktion som motsvarar maximalbehovet.

Anläggningsbeskrivning

Anläggningens principiella uppbyggnad framgår av figur 1.

I den gaseldade varmvattenpannan (1) produceras dels varmvatten för växthusens uppvärmning, dels förbränningsgaser som används för CO₂-gödslingen.

Pannans brännare (2) är en s k låg NO_x-brännare av fabrikat Wershaupt typ G70/2-AZM. Den låga NO_x-nivån åstadkommes genom att en del av förbränningsgaserna recirkuleras till förbränningsluften. Därigenom sänks förbränningstemperaturen och NO_x-bildningen minskar. Leverantören garanterar en NO_x-emission på max 28 mg/MJ bränsle.

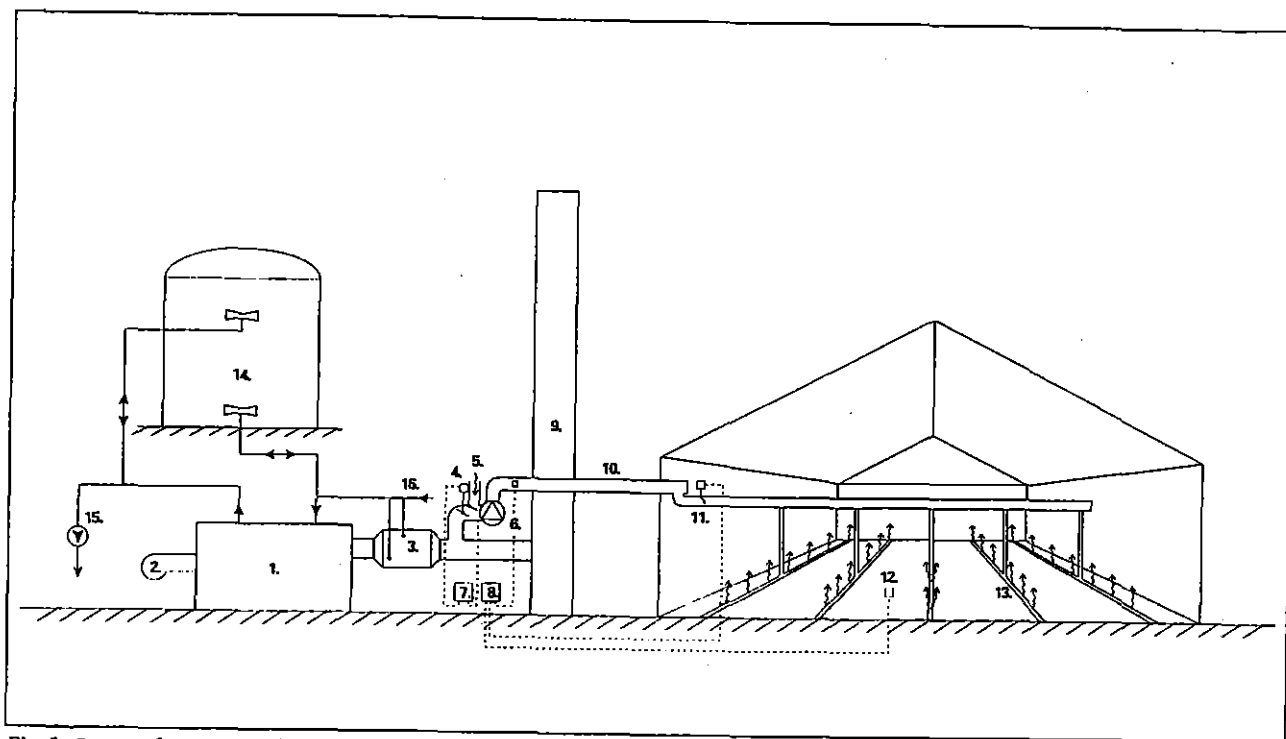


Fig 1. System för CO₂-gödning med förbränningsgaser från naturgaspanna.

- | | |
|---|---|
| 1. Naturgaseldad varmvattenpanna | 9. Skorsten |
| 2. Brännare av låg-NO _x -typ | 10. Förbindelserör panncentral-växthus |
| 3. Avgasvärmeväxlare | 11. Reglerspjäll för enskilt växthus |
| 4. Säkerhetsspjäll | 12. CO ₂ -mätare |
| 5. Blandningsspjäll | 13. Perforerade plastfolieslangar |
| 6. Fläkt för inblåsning av förbränningsgasen till växthuset | 14. Ackumulatortank för varmvatten |
| 7. CO-vakt | 15. Pump för cirkulation av varmvatten till växthuset |
| 8. CO ₂ -regulator | 16. Returledning varmvatten från växthuset |

Varmvattnet från pannan distribueras till växthuset med hjälp av en cirkulationspump (15). Returvattnet från växthuset (16) förvärms i en rökgasvärmeväxlare (3) innan det återmatas till pannan.

Förbränningsgaserna från pannan passerar först den nämnda rökgasvärmeväxlaren (3). Här kyls förbränningsgaserna i två steg, först från 140 till 85 °C och därefter från 85 till 56 °C. Vid temperatursänkningen avges ca 370 kW värme till returvattnet till pannan (vid full panneffekt) samtidigt som en del av fukten i brännngaserna kondenserar ut. Därmed sänks fukthalten i brännngasen vilket underlättar regleringen av fukthalten i växthuset.

Efter rökgasvärmeväxlaren går en del av förbränningsgaserna till skorstenen (9) medan resten leds in i växthuset med hjälp av två fläktar (6).

Distributionen till växthuset sker via två skilda ledningssystem. Det ena systemet, som leder till den gamla växthusdelen på 4 500 m² och till ett växthusblock på 10 000 m² har kapaciteten 4 500 m³/h vid ett mottryck på 270 mm vp. Det andra systemet, som leder till två stycken friliggande 20 m breda växthus på tillsammans 6 000 m², har kapaciteten 2 500 m³/h vid ett mottryck på 200 mm vp.

Ledningarna till växthusen består av PVC rör (10) som har dimensionerna Ø400 resp 250 mm. I växthusen löper PVC-rör runt väggarna som sedan förgrenas ut i klenare, perforerade plastfolieslangar som löper på golvet mellan gurkraderna (13).

CO₂-halten i växthuset känns av med en CO₂-mätare (12). Via en regulator (8) styrs fläkten (6) och individuella reglerspjäll för varje växthus (11) så att rätt CO₂-nivå upprätthålls.

Skulle CO₂-halten bli för hög i förbränningsgaserna ombesörjer en CO-vakt (7) att säkerhetsspjället (4) stängs och fläktarna (6) stoppas. En temperaturvakt (ej visad i figuren) ombesörjer att fläktarna (6) stoppas om temperaturen hos förbränningsgaserna blir för hög.

Pannanläggningen

Den naturgaseldade pannan (1) är av fabrikat CTC OSBY med en effekt på 7 MW. I panncentralen finns sedan tidigare även en koleldad panna av fabrikat TMV med en effekt på 4 MW samt två oljeeldade pannor med en sammanlagd effekt av 3,4 MW. Den gaseldade pannans effekt räcker till för att täcka verksamhetens maximala värmebehov.

Huvudcirkulationspumparna (15) har sin placering i panncentralen.

Värmeackumulatorn

Under perioden medio april till oktober har man som regel störst värmebehov under natten och störst CO₂-behov under dygnets ljusa timmar dvs under dagen. Det är också då man har störst nytta av ackumulatortanken för varmvatten (14).

Funktionen hos ackumulatorsystemet är följande: Vid behov av CO₂ utan motsvarande värmebehov, startar brännaren på signal från styrautomatiken. Det varma pannvattnet, ca 90 °C, leds till toppen av ackumulatortanken samtidigt som kallt bottenvatten från tanken strömmar tillbaka till pannan. När botten Temperaturen i tanken ökat till 90 °C är det ett tecken på att tanken är fulladdad varför brännaren stoppar. Därmed upphör även CO₂-produktionen.

Om därefter förhållandet blir det motsatta dvs värmebehovet från växthusen ökar samtidigt som CO₂-behovet minskar, så tillgodoses värmebehovet genom att det 90-gradiga tankvattnet leds från tankens topp ut i värmesystemet. Det kalla returvattnet från värmesystemet pumpas tillbaka till tankens botten.

Som tidigare nämnts är ackumulatortankens volym 300 m³. Om temperaturen på vattnet i tanken kan tillåtas sjunka till 60 °C vid "urladdning" innebär det att lagringskapaciteten är 10 400 kWh. Maximal CO₂-förbrukning motsvarar en panneffekt på 1 560 kW varför lagringskapaciteten motsvarar drift vid denna effekt under 6,5 timmar.

Under sommartid skulle man egentligen ha behov av ännu större lagringskapacitet, men på morgonen och kvällen kan man, utan att växterna tar skada, leda ut en del av värmen i växthusen varför det reala ökade lagringsbehovet begränsas.

Ackumulatortanken är så hög att den samtidigt fungerar som anläggningens expansionskärl. Vattentemperaturen kan variera från 10 °C till 90 °C vilket ger en volymförändring hos vattnet på 3,9 % vilket i det här fallet innebär ca 10 m³:

För att förhindra syresättning av vattnet åstadkommes en ångkudde ovanför vattenytan med hjälp av ett elbatteri. Tankens avluftsningrör är försett med ett vattenlås som blåses ut vid ett.

övertryck på 50 mm vp. Tanken är därutöver försedd med manlucka och bräddavlopp. Den är isolerad med 150 mm mineralull.

Vid dimensionering av den pump som används för laddning av ackumulatortanken (ej visad i figuren) är det viktigt att den anpassas till aktuell brännareffekt vid ren CO₂-produktion. Är pumpkapaciteten för liten kommer panntemperaturen att stiga över tillåtet värde varvid brännaren stoppar och CO₂-produktionen upphör. Om å andra sidan pumpkapaciteten är för hög sjunker panntemperaturen och det finns risk för kondensering på rökpassiden.

Det skall också påpekas att det krävs relativt avancerad automatik för att systemet inklusive ackumulatortanken skall fungera tillfredsställande. Det finns inga universallösningar utan automatiken måste anpassas till varje enskild odling. Det lönar sig att lägga ner mycket arbete på att få fram ett för varje applikation optimalt system.

Ekonomi

Investeringen för CO₂-distributionssystem, avgasvärmväxlare och ackumulatortank samt merinvesteringen för låg-NO_x brännaren uppgick till 1,6 Mkr för en växthusyta på ca 20 000 m².

Vid gödsling med inköpt CO₂ på tank bestäms optimal CO₂-halt i växthuset genom en avvägning av kostnaden för CO₂ mot värdet av produktionsökningen vid olika CO₂-halter. Den CO₂-halt som ger störst nettovinst är den optimala.

Vid gödsling med förbränningsgaser från en naturgaspanna är den rörliga kostnaden för CO₂ i stort sett noll. Det innebär att man kan hålla en högre CO₂-halt än i tankalternativet och därmed få ännu större produktionsökning.

I fallet Nygaards Trädgårdsodlingar uppgår den "extra" skördeökningen till 5 à 10 % vilket i pengar motsvarar 0,5 à 1 Mkr/år. Därtill kommer en besparing på 0,2 Mkr/år motsvarande tidigare kostnader för inköpt CO₂.

Mot värdet av produktionsökningen och besparingen i inköpt CO₂ skall naturligtvis ställas ränta och avskrivning på skillnaden i investering för de två olika distributionsprinciperna.

Mätprogram Arbetsmiljöförhållanden vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus

Kortversion

Ann-Beth Antonsson
Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning

Februari 1991



Nordisk Gasteknisk Center

Nordic Gas Technology Centre

Innehåll

Summary	0
Sammanfattning	1
1. Bakgrund och syfte	2
2. Mätningar, Nivå 1	2
2.1. Parametrar	2
2.2. Mätstrategi	3
2.3. Mätmetoder	4
3. Mätningar, Nivå 2	5
3.1. Mätparametrar	5
3.2. Mätstrategi	5
3.3. Mätmetoder	5
4. Rapportering.....	7

Measuring programme.

Work environment conditions in connection with the combustion of natural gas for carbon dioxide fertilizing in greenhouses.

Summary:

Having been commissioned by NGC, IVL has drawn up a measurement programme to monitor the work environment in connection with the combustion of natural gas for carbon dioxide fertilizing in greenhouses. The measurement programme has been devised in concert with a project group which includes the following persons:

Per-Arne Persson/Thomas Carlqvist, NGC; Nils-Eric Carlstedt, Vattenfall; Ole Madsen, DGC; Pontus Mattson, Neste OY; Lars Nilsson, Sydgas.

The measuring programme has also been discussed with the National Swedish Board of Occupational Safety and Health and the Labour Directorates of Sweden, Norway, Denmark and Finland, and has been received positively by these agencies.

NGC recommends that when measurements are to be performed to monitor the impact of the combustion gases on the working environment, these should be made in accordance with the measurement programme. The measuring programme can also be used as a basis for discussing the measurements of combustion gases from natural gas in other working environments.

Measurements are being taken on the initiative of greenhouse owners or whenever so required by the authorities. NGC recommends that, initially, measurements be made in accordance with level 1 of the measuring programme, which involves measuring the content of carbon dioxide, carbon monoxide and nitric oxide. Where there are special grounds, measurements can also be made according to level 2, which includes measurements of such substances as are expected to occur in very small proportions.

This document can be used in liaising with consultants who are to submit an offer for the measurement work. A more comprehensive report entitled "Measuring programme. Work environment conditions in connection with the combustion of natural gas for carbon dioxide fertilizing in greenhouses" is available and can be ordered from NGC.

Mätprogram.

Arbetsmiljöförhållanden vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus.

Sammanfattning:

På uppdrag av NGC har IVL utarbetat ett mätprogram för kontroll av arbetsmiljön vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus. Mätprogrammet har utarbetats i samråd med en projektgrupp, där följande personer ingått:

Per-Arne Persson/Thomas Carlqvist, NGC; Nils-Eric Carlstedt, Vattenfall; Ole Madsen, DGC; Pontus Mattson, Neste OY; Lars Nilsson, Sydgas.

Mätprogrammet har även diskuterats med Arbetarskyddsstyrelsen/Arbets tillsynet i Sverige, Norge, Danmark och Finland och fått ett positivt bemötande av dessa myndigheter.

NGC rekommenderar att mätningar görs enligt mätprogrammet, när mätningar ska göras för kontroll av förbränningsgasernas effekt på arbetsmiljön. Mätprogrammet kan även användas som underlag för planering av och diskussion om mätningar på förbränningsgaser från naturgas, i andra arbetsmiljöer.

Mätningar görs på initiativ av växthusägare eller när myndigheter så kräver. NGC rekommenderar att mätningar i första hand görs enligt nivå 1 i mätprogrammet, vilket innebär mätning av koldioxid-, kolmonoxid- och kvävedi oxidhalterna. Om särskilda skäl föreligger, kan mätningar även göras enligt nivå 2, vilken innefattar mätningar av sådana ämnen som förväntas förekomma i låga halter.

Detta dokument kan användas vid kontakter med konsulter som ska lämna offert på mätningarna. En mer utförlig rapport med titeln "Mätprogram. Arbetsmiljöförhållanden vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus" finns och kan beställas från NGC.

MÄTPROGRAM

ARBETSMILJÖFÖRHÅLLANDEN VID FÖRBRÄNNING AV NATURGAS FÖR KOLDIOXIDGÖDSLING I VÄXRHUS. KORTVERSION

1. BAKGRUND OCH SYFTE

Nedanstående mätprogram har utarbetats med målsättningen att kartlägga hur höga halterna av luftföroreningar blir vid förbränning av naturgas för koldioxidgödsling i växthus och om gällande hygieniska gränsvärden överskrids.

NGC och dess ägare rekommenderar att mätprogrammet används. Mätningar genomförs på initiativ av växthusägare som har eller planerar koldioxidgödsling från naturgasförbränning eller på begäran från respektive myndighet i de nordiska länderna.

Mätprogrammet har delats upp i två nivåer. Den första nivån är de viktigaste mätningarna. I de fall beslut fattas om att mätningar ska genomföras, rekommenderas att mätningar görs enligt nivå 1, eftersom halten av dessa ämnen ligger närmast sina resp gränsvärden. För samtliga ämnen som inkluderas i denna nivå finns idag mätresultat som tyder på att halterna knappast kommer att överskrida det hygieniska gränsvärdet, mer än om det uppstår fel vid förbränningen av naturgasen.

Den andra nivån är en mer ambitiös nivå, som kompletterar den första nivån. Den är inriktad på ämnen som inte förväntas överskrida ens 10% av gränsvärdet samt att kontrollera luftkvaliteten generellt i lokalen. Flera av dessa mätningar görs i fasta mätpunkter och kan därför ej enkelt jämföras mot gränsvärden. Dessa mätningar syftar mer till att ge kunskap om hur halterna i lokalen varierar över tiden och vilka faktorer som påverkar variationen. Mätningar enligt nivå 2 görs endast om särskilda skäl föreligger, se vidare avsnitt 6.

Utöver dessa mätningar finns ofta kontinuerliga mätinstrument installerade för att mäta koldioxidhalten, så att gödslingen sker vid optimal koldioxidhalt. Ibland finns även gasvarnare för att varna för ev haverier, som kan ge upphov till förhöjda kolmonoxidhalter. Kolmonoxid är en luktlös gas, som i förhöjda halter blockerar blodets syreupptagning. Gasvarnare för kolmonoxid är därför särskilt befogat. I en del länder finns krav på gasvarnare för kolmonoxid. Gasvarnarna ska då kalibreras regelbundet. Dessa mätare/gasvarnare inkluderas ej i mätprogrammet.

2. MÄTNINGAR NIVÅ 1

2.1 Parametrar

Som grundparameter föreslås koldioxid och kolmonoxid. Koldioxid- och kolmonoxidhalterna ska alltid mätas.

Vid sidan av dessa mäts även halten kvävedioxid. Om det efter första mättillfället vid en anläggning visar sig att kvävedioxidhalten inte överskridit 25% av sitt gränsvärde, under

normala arbetsförhållanden i ett växthus, samt normalt inom- och utomhusklimat, kan kvävedioxid sedan uteslutas ur mätprogrammet för den anläggningen. Om 25% av hygieniska gränsvärdet (50% av avgasgränsvärdet) överskrids, vidtas antingen förnyade mätningar eller åtgärder för att minska halten till under 25 % av det hygieniska gränsvärdet. Normalt är det inga problem att hålla kvävedioxidhalten under 25% av gränsvärdet (50% av avgasgränsvärdet) i ett växthus.

Enligt de erfarenheter som idag finns samt med kännedom om fundamentala förbränningsbetingelser, ökar knappast kvävedioxidhalten med tiden. Vid ett haveri med syreunderskott, minskar kvävedioxidhalten. Att efter en tid utesluta kvävedioxid torde därför inte innebära några risker.

2.2 Mätstrategi

Samtliga mätningar på nivå 1 avser direkt eller indirekt att kontrollera att gällande hygieniska gränsvärden ej överskrids. Eftersom det är svårt att göra med personburen mätutrustning för koldioxid och kolmonoxid, används en något annorlunda mätstrategi för dessa ämnen.

Samtliga mätningar görs under en hel arbetsdag.

För mätning av kvävedioxid, nivå 1, gäller att mätningar företrädesvis görs under en hel arbetsdag och med personburen utrustning.

Koldioxid är ej lämpligt att mäta personburet, dels för att en enkel och fältmässig mätteknik saknas, dels för att provet kan påverkas av utandningsluften från bäraren eller andra som står i närheten. Mätning av koldioxidhalten görs därför stationärt med direktvisande instrument. Mätningar görs också för att verifiera att koldioxidhalten är jämn i personalens vistelsezon. Exponeringen beräknas genom att väga vistelsetiden i arbetslokalen mot vistelse i andra lokaler utan luftföroreningar från förbränning av gas. För den övriga tiden antas koldioxidexponeringen vara 500 ppm, om den inte mäts.

Om koldioxidhalten varierar mycket i personalens vistelsezon, kan två strategier tillämpas. Mätningar görs i flera punkter i de områden där personalen vistas, för att identifiera den mätpunkt där halterna är högst. Om halterna i zonen med högst halter ligger under gränsvärdet, mäts halterna i denna punkt. I annat fall, mäts halterna i flera punkter och ett tidsvägt medelvärde baserat på personalens vistelsetid i de olika zonerna beräknas.

Kolmonoxidhalten mäts också med direktvisande instrument i flera mätpunkter där personalen vistas. Den mätpunkt där halterna är högst identifieras. Om kolmonoxidhalten där ligger över 20% av gränsvärdet, tyder det på att förbränningen är ofullständig. I dessa fall ska förbränningen omgående justeras. Med instrumentet kontrolleras sedan att halterna minskar till under 10% av gränsvärdet. Kolmonoxidmätningen är i detta fall inte primärt till för att kontrollera att gränsvärdet ej överskrids, utan istället att förbränningen är så god att exponeringen för kolmonoxid från rökgaserna med mycket god marginal underskrider gränsvärdet. Det bör observeras

att speciellt vintertid, i tätorter kan utomhushalterna av kolmonoxid ibland bli höga. De halter som anges ovan, måste därför jämföras med utomhushalterna. Om halterna ligger över 20% av gränsvärdet, på ett stort bidrag från bakgrunds-nivån, kan inte alltid justeringar av förbränningen minska kolmonoxidhalten.

Under mätperioden får ingen rökning förekomma på platser där det kan påverka mätresultatet. Eventuell förekomst av andra aktiviteter, t ex körning med diesel- eller gasol-driven truck under mätperioden ska noteras och eventuell påverkan på mätresultaten ska anges. Det gäller även väderförhållandena och ventilationens påverkan på halten luftföroreningar.

2.3 Mätmetoder

Koldioxidhalten mäts med IR-instrument eller med ett instrument som bygger på fotoakustik detektion. Instrumentet måste kunna mäta på minst 25 ppm när. Kalibrering görs med kalibrergas, antingen med färdig gasblandning på flaska, noggrannhet $\pm 5\%$, eller med ren koldioxid, som blandas in i ett kalibrersystem (gäller för Miran-instrument). Om kalibrering görs med kalibrersystem, ska kalibrering göras vid flera olika halter, så att en kalibrerkurva upprättas. Kalibreringen görs genom att tillsätta samma volym ren gas, från en och samma gastäta spruta, upprepade gånger till samma gasblandning. På så sätt minimeras felet.

Koldioxidinstrumentet kan dessutom kalibreras med uteluft, som antas ha koldioxidhalten 350 ppm eller mot syntetisk gasblandning fri från koldioxid, dvs 0 ppm. Mätning av utelufthalten får ej användas som enda kalibreringsmetod.

Med dessa mätmetoder uppskattas mät-noggrannheten till $\pm 10\%$.

Kolmonoxidhalten mäts också med ett IR-instrument. Detektionsgränsen får vara högst 1 ppm. Kalibrering görs enligt samma metoder som för koldioxid, med undantag för kalibrering med uteluft och teknisk luft. I normalfallet, kan utomhusluft användas för nollkalibrering (förutsätter att utomhusluften ej håller för mycket bilavgaser och att det ej är vinter och inversion i tätort). Kolmonoxidhalten utomhus anges som referens till inomhusmätningarna.

Med denna mätmetod uppskattas mät-noggrannheten till ± 1 ppm, vid halter mellan 0 och 10 ppm. Om ett instrument med lägre detektionsgräns används, anges mät-noggrannheten till $\pm 10\%$.

Kvävedioxidhalten mäts med en diffusionsprovtagare eller med aktivt pumpad provtagning. Två typer av dosimetrar kan användas. Antingen används en japansk typ som impregnerats med trietanolamin (säljs f n ej kommersiellt i Norden, ref Berglund M m fl, Mätning av exponering för NO_2 med personburen diffusionsprovtagare. En metodstudie, Rapport nr 3/89, Karolinska Institutet, Institutet för Miljömedicin, Stockholm 1989), eller en svensk typ (Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, Göteborg), som impregnerats med kaliumjodid. Ingen av dem är idag tillräckligt väl testad för att de ska betraktas som mycket noggranna mätmetoder. Noggrannheten i

dosimeterproverna antas tills vidare vara $\pm 50\%$. När metoderna testats ytterligare kan noggrannheten bli bättre. För de flesta fall är sannolikt kvävedioxidhalten så låg att gränsvärdet underskrids med god marginal, varför den dåliga noggrannheten i de flesta fall inte spelar någon större roll. Om halva gränsvärdet överskrids, måste en kompletterande och noggrannare mätning göras. Från varje provtagningsstillfälle bifogas minst ett 0-prov till analysen. Vintertid, vid mätningar i tätort, bör ett referensprov tas utomhus, så att kompensation kan göras för bakgrundshalten.

Som aktiv metod kan trietanolimpregnerat filter eller adsorptionsrör användas, se Willey, M. A., McCammon, C. S., Doemeny, L. J. A solid sorbent personal sampling method for the simultaneous collection of nitrogen dioxide and nitric oxide in air. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 38 (1977) 358-363.

3. MÄTNINGAR, NIVÅ 2

3.1 Mätparametrar.

I den mån kvävedioxid avförs från nivå 1, för att halterna ligger med god marginal under gränsvärdet, tillförs personburna kvävedioxidmätningar nivå 2.

Mätningar på nivå två innefattar mätning av kvävedioxid-, kvävemonoxid-, benso(a)pyren- och formaldehydhalter. De två sistnämnda ingår eftersom de befintliga mätningarna är få, även om de uppmätta halterna relativt gränsvärdet är mycket låga. På sikt kan dessa parametrar uteslutas ur mätprogrammet, om mätningar vid flera anläggningar visar att halterna ligger under 10 % av gränsvärdet. De två förstnämnda parametrarna ingår för att ge en bättre bild av föroreningshalterna i lokalen samt hur förbränningen fungerar.

3.2 Mätstrategi

Mätningarna på nivå 2 är ett komplement till mätningarna på nivå 1. Mätningarna görs under en hel arbetsdag.

Mätningarna av kvävedioxid och kvävemonoxid görs med direktvisande och registrerande instrument, över längre perioder. Hur länge mätningar görs, beror bl a på hur stora haltskillnader som kan förväntas mellan olika dagar, beroende bl a på hur naturgasen används och lokalens utformning.

Formaldehyd och benso(a)pyren mäts med personburen utrustning över en arbetsdag. I den mån kvävedioxid utesluts ur nivå 1, görs även personburna kvävedioxidmätningar på nivå 2. M

3.3 Mätmetoder

Kväveoxidhalterna, kvävedioxid och kvävemonoxid, mäts med ett kemiluminiscens-

instrument. Detektionsgränsen ska vara högst 0,1 ppm (100 ppb). Instrumentet kalibreras antingen med kalibrergas på specialflaska, som tål lagring (t ex spectrasilcylinder) eller med permeationsrör. Kalibrergasen ska vara färsk, högst 6 månader gammal, eller ha kontrollerats på laboratorium senast 6 månader före mätningen. Om permeationsrör används, ska kalibreringen göras under längre tid, tills jämvikt inställts. Permeationsröret ska hållas vid konstant temperatur, $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Kväveoxid- och -dioxidhalterna utomhus anges som referens till inomhusmätningarna.

Noggrannheten i kväveoxid- och kvävedioxidmätningen är med dessa mätmetoder $\pm 10\%$.

Formaldehydhalten mäts med 2,4-DNF-impregnerat filter, antingen med pumpad provtagning eller med diffusionsprovtagare. Analys görs med HPLC med UV-detektor. Gaskromatograf kan också användas för analysen, men HPLC ger en lägre detektionsgräns, vilket är en fördel, eftersom halterna kan vara låga. Analysen görs specifikt på formaldehyd, vilket innebär att andra aldehyder ej stör mätningen, vilket kan ske om kromotropsyrametoden används. Formaldehydmätningarna görs därför ej med kromotropsyrametoden. Prov tas ut under en hel eller två halva (vid pumpad provtagning) dagar. Luftflödet vid mätningen får vara maximalt 50 ml/min. Minst ett 0-prov analyseras tillsammans med proverna. 0-provet ska ha behandlats på samma sätt som övriga prov vid mätningen, bortsett från själva provtagningen. Metoden med aktiv provtagning (pump) beskrivs i Metodserien nr 30 från Arbetsmiljöinstitutet, Stockholm, Sverige.

Noggrannheten i formaldehydmätningen är med denna metod $\pm 10\%$.

Benzo(a)pyren eller PAH provtas med glasfiberfilter som seriekopplas med två polyuretanpluggar efter. Eftersom PAH-halten antas vara mycket låg, analyseras proven med HPLC (vätskekromatograf) med fluorescensdetektor, vilket ger en god känslighet. Något sämre känslighet, men en säkrare identifiering kan erhållas med ett GC/MS-system, som också kan användas. Resultatet anges dels som halt benzo(a)pyren, dels specificerat på halten av övriga identifierade PAH. Denna mätmetod stämmer ej med de mätmetoder som rekommenderas i Sverige, Finland eller Norge för mätning av PAH i arbetsmiljön. De ämnen som analyseras är dock ungefär samma, men detektionsgränsen är betydligt lägre, vilket är nödvändigt i de aktuella miljöerna. Mätningar enligt metoder med högre detektionsgränser torde vara ointressant, eftersom resultat i form av mindre än-värden är det enda som kan förväntas. Den danska metoden, PAH i bensenlös fraktion, har en så hög detektionsgräns att också den är ointressant i sammanhanget. I projektet "Nordisk interkalibrering av miljögifter i luft", som administreras av Statens Naturvårdsverk, Stockholm, har PAH-analyser vid olika nordiska laboratorier jämförts. Rapporten beräknas publiceras under slutet av 1991.

Minst ett 0-prov analyseras tillsammans med proverna. Det är en fördel om ett prov också kan tas för kontroll av PAH-halten utomhus.

Noggrannheten i dessa mätningar är med denna metod $\pm 10\%$, om halterna ligger klart över detektionsgränsen. Vid halter i nivå med detektionsgränsen är noggrannheten i samma storleksordning som detektionsgränsen.

I övrigt görs mätningarna enligt de föreskrifter som gäller i respektive land.

4. RAPPORTERING

Mätresultaten rapporteras i en mättrapport som skrivs enligt de riktlinjer som finns i anvisningar från Arbetarskyddsstyrelsen /Arbeidstilsynet. I rapporten ska medtas

- mätpunkter
- mätmetoder med angivande av osäkerheten i mätresultatet
- kalibreringsmetoder
- mätresultat
- temperatur och relativ luftfuktighet inom- och utomhus under mätningen
- förhållandena under mätningen, bl a ventilation, ev påverkan av utomhusklimatet, vind etc. Gärna jämförelser mot normala koldioxidhalter uppmätta med företagets eget koldioxidinstrument.
- eventuella förhållanden som kan ha påverkat mätresultaten, t ex förekomst av rökning, diesel- eller gasoldrivna truckar etc.
- jämförelser mot de riktvärden som anges i detta mätprogram samt eventuella förslag till åtgärder.

LUFTKVALITETSMÄTNINGAR VID KOLDIOXIDGÖDSLING MED FÖRBRÄNNINGSGASER FRÅN NATURGASELDAD PANNA

Inledning

Huvudsyftet med luftkvalitetsmätningarna var att undersöka förändringar i luftföroreningshalten i ett växthus då förbränningsgaser från en naturgaseldad panna leddes in i växthuset i fråga.

Mätningarna utfördes av VIAK AB under drygt två dygn i slutet av mars 1990. Redovisningen nedan är en sammanfattning av en fullständig mät rapport från VIAK AB med titeln "Nygaards Trädgårdsodlingar AB. Luftkvalitetsmätning i växthus vid koldioxidgödsling med förbränningsgas från naturgaseldad panna" och daterad 1990-07-17. Rapporten finns tillgänglig vid bl a Nordisk Gasteknisk Center (NGC) i Hörsholm i Danmark.

Mätprogram

Framtagning av mätprogrammet gjordes i samråd med berörda myndigheter och intressenter.

Mätningar har skett dels i aktuellt växthus, dels i de rörledningar i vilka förbränningsgasen transporteras till växthuset.

I växthuset och i rörledningarna har koncentrationen av följande ämnen mätts:

- Kolmonoxid (CO)
- Koldioxid (CO₂)
- Kvävemonoxid (NO)
- Kvävedioxid (NO₂)
- Kväveoxider totalt (NO_x)
- Polyaromatiska kolväten (PAH)
- Totalkolväte

Därutöver har mätts

- lufttemperatur i växthuset
- gastemperatur i rörledningarna
- utetemperatur strax intill vädringsluckor på växthustaket
- syrehalt i förbränningsgasen i rörledningarna
- gasflödet i rörledningarna

Slutligen har öppnings- och stängningstider för vädringsluckorna registrerats under den aktuella mätperioden.

I uppdraget ingick även att beräkna luftomsättningen i växthuset vid stängda vädringsluckor och att göra erforderliga mätningar härför.

Mätperiod

Samtliga mätningar utfördes inom tidsperioden 19 mars 1990 kl 18.00 - 22 mars 1990 kl 05.00. Exakta tidpunkter framgår av den följande redovisningen.

Mätutrustning

Följande mätutrustning användes på platsen för mätningarna.

<u>CO:</u>	Ecolyzer, kontinuerlig registrering
<u>CO₂:</u>	Riken modell RI-411, kontinuerlig registrering
<u>NO, NO₂ och NO_x:</u>	Monitor Labs 8840, kontinuerlig registrering
<u>Gasflödet:</u>	Alnor elektronisk mikromanometer kopplad till ett pitotrör
<u>Temperaturer:</u>	Termoelement

Analys av kolväten gjordes i laboratorium på tagna prover med hjälp av högupplösande gaskromatografi och masspektrometri.

Analyser av CO, CO₂ och NO_x från sk luftprovtagningspåsar har också gjorts i laboratorium. För CO och CO₂ har därvid använts gaskromatografi och för de nitrösa gaserna absorption i basisk väteperoxidlösning och spektrofotometrisk analys.

Mätställen

En skiss över den del i växthuset där mätningarna utfördes visas i figur 1. I figuren är de aktuella mätpunkterna markerade.

Mätningarnas genomförande

Följande mätningar och typer av mätningar har genomförts.

Kontinuerliga mätningar

I mätpunkterna 1 och 9 har utförts kontinuerliga mätningar av CO, CO₂, NO, NO₂ och NO_x med hjälp av den på platsen befintliga mätutrustningen.

På grund av fel i mätutrustningen för CO₂ efter ca halva mättiden utnyttjades värden från den permanenta CO₂-mätaren (mätpunkt 4) för den andra halvan av mätperioden.

Kolväten

Prover på förbränningsgasen, tagna i rörledningen och på luften i växthuset, tagna i mätpunkt 3, har skickats till laboratorier för analys med avseende på polyaromatiska kolväten och totalkolväten. PAH-analyserna har utförts vid Studsvik medan analyserna avseende totalkolväten utförts vid Statens Provvningsanstalt.

Areamätning

Areamätning innebär att mätsonden förflyttas inom en given area på ett sätt som ungefär motsvarar huvudets förflyttning hos en person som arbetar inom den givna arean. Avsikten därmed är att man skall kunna se vilka luftföroreningsnivåer som personen ifråga utsätts för på olika ställen i en viss arbetsituation.

I det här fallet har mätningarna omfattat CO, NO, NO₂ och NO_x inom en area av 4 x 6 m och på höjder varierande mellan 0,5 och 2 meter.

Mätningarna har registrerats av samma mätutrustning som för de kontinuerliga mätningarna ovan. Areamätningarna pågick under ca en timmes tid på morgonen den 21 mars.

Expositions-mätning

Expositions-mätningarna har skett enligt den s k påsmetoden. Denna metod benämns också direktuppsamling och innebär att en viss volym av luften uppsamlas och förvaras i något lämpligt kärl varifrån luftvolymen kan uttagas för analys. I det här fallet anbringades en påse av ett lämpligt material tillsammans med en provtagningspump på försökspersonen. Beroende på den önskade provtagnings tiden varierar luftflödet, dvs pump-hastigheten, så att påsen fylls på önskad tid. Analys kan därefter utföras gaskromatografiskt eller på annat sätt direkt på prov från påsen.

Fem stycken påsprover har tagits med intagsmunstycket i ansiktshöjd. Proverna togs inom en tid av ca 45 minuter på morgonen den 21 mars och avsåg CO, CO₂ och NO_x.

Luftomsättning

Att känna till växthusets luftomsättning är viktigt med hänsyn till fastläggande av den mängd CO₂ som måste tillföras växthuset för att en viss CO₂-koncentration skall kunna upprätthållas. I det här fallet skulle luftomsättningen beräknas för växthuset med stängda vädringsluckor.

Försöket tillgick så att vädringsluckorna stängdes varefter förbränningsgaser tillfördes växthuset till dess att CO₂-nivån uppgick till 2 500 ppm. Gastillförseln stoppades och CO₂-koncentrationens avtagande i tiden prickades därefter in i ett halvlogaritmiskt diagram. I ett sådant diagram sker "avklingningen" ungefär efter en rät linje och med hjälp av linjens lutningskoefficient kan luftomsättningstalet beräknas.

Mätningarna utfördes under ca 2 timmar natten mellan den 20 och 21 mars.

Lucköppningsfrekvens och temperaturer

Vid tillförsel av förbränningsgaser till växthuset måste av naturliga skäl en viss utvädring ske. Under mätperioden skedde normal utvädring, och stängnings- och öppningstiderna för vädringsluckorna har registrerats. Likaledes har temperaturen vid marknivå i växthuset och vid vädringsluckorna på takets utsida kontinuerligt registrerats.

Gasflödesmätning

Hastigheten hos förbränningsgaserna i rörledningarna in till växthuset har mätts i mät-punkterna 8 i figur 1. Med kännedom om ledningarnas dimension (D = 18 cm) har motsvarande gasflöde beräknats.

Mätningar har utförts vid tre tillfällen:

- 20 mars kl 22.30--23.24
- 21 mars kl 15.30--15.45
- 22 mars kl 10.05--13.45

Mätresultat

Mätningarna utfördes som tidigare nämnts under ca 2 1/2 dygn i mars månad 1990. CO₂-gödning med förbränningsgaser skedde under den tiden dagligen från kl 05.00 på mor-gonen till kl 18.00 på kvällen.

Resultaten redovisas i diagramform med kommentarer nedan. I vissa fall görs även jämförelser med existerande nivågränsvärden dvs de hygieniska gränsvärden som gäller för exposition under en hel arbetsdag.

Det skall påpekas att diagrammen i originalrapporten oftast återger momentanvärden vilka i flera fall fluktuerar starkt i tiden. Här har för åskådlighetens skull en utjämning skett så att diagrammen grovt kan sägas återge halvtimmes till entimmesmedelvärden.

Koldioxid (CO₂)

CO₂-halten i rörledningen och i växthuset varierar i tiden enligt figur 2. Intressant att notera är att CO₂-halten i mätpunkt 4 genomgående är lägre än i mätpunkt 1 under de tider koldioxidgödsling sker (kl 05.00-18.00). Detta beror på att mätpunkt 4 befinner sig närmare plantorna än mätpunkt 1 och eftersom plantorna "suger upp" koldioxid är det naturligt att nivån nära plantorna är lägre.

Marginalen till nivågränsvärdet 5 000 ppm är betryggande (även inuti rörledningen!)

Kolmonoxid (CO)

Resultatet av CO-mätningarna visas i figur 3. Normalt ligger nivån under 1 ppm oberoende av om CO₂-gödsling förekommer eller ej. Höga värden på 120 - 150 ppm har kortvarigt registrerats orsakade av truckar som passerat förbi mätsonden. Truckkörning i växthuset förekommer i samband med skörd av gurkor.

Nivågränsvärdet ligger vid 35 ppm och liksom vid CO₂ ligger t o m halten i tillförselledningen under nivågränsvärdet.

Kväveoxider (NO_x)

Redovisning av kväveoxidhalterna återfinns i figurena 4:1 och 4:2 där 4:1 avser halterna i växthuset och 4:2 halterna i rörledningen.

Även här ligger nivåerna långt under gällande hygieniska gränsvärden. Kvävedioxidhalten ligger omkring 0,1 ppm vilket kan jämföras med nivågränsvärdet 2 ppm. NO-halten kommer vid vissa perioder upp i 0,3 ppm vilket skall jämföras med nivågränsvärdet 25 ppm.

Höga NO_x-värden registrerades i samband med mätning av luftomsättningen (kl 23.30 den 20 mars till kl 01.30 den 21 mars, jfr fig 4:1). Exakt värde på toppen kan ej anges eftersom mätutrustningens mätområde var begränsat till 0,7 ppm. De höga värdena sammanhänger med att vädringsluckorna var stängda då luftomsättningen mättes.

Kolväten

Resultatet av analysen av polyaromatiska kolväten visas i tabell 1. Av de analyserade ämnena kan nämnas att benzo(a)pyren har ett nivågränsvärde på 5 µg/m³ vilket kan jämföras med halten i växthuset, < 0,0003 µg/m³ (< 0,0003 µg/m³ i tabellen innebär att mätutrustningens detekteringsgräns ligger vid 0,0003 µg/m³).

För jämförelses skull visas i tabell 2 motsvarande värden för stadsluft i Solna.

Tabell 1. Halter av polyaromatiska kolväten i växthuset vid CO₂-gödsling

Förening	m/z masstal	µg i provet	µg/m ³
NAFTALEN	128.0	0.42	0.042
FENANTREN	178.0	0.057	0.0057
ANTRACEN	178.0	0.013	0.0013
FLUORANTEN	202.0	0.0069	0.00069
PYREN	202.0	0.0036	0.00036
BENSO(a)FLUOREN	216.0	<0.003	<0.0003
BENSO(b)FLUOREN	216.0	<0.003	<0.0003
BENSO(a)ANTRACEN	228.0	<0.002	<0.0002
CHRYSEN	228.0	}	<0.005
TRIFENYLEN	228.0		
BENSO(j)FLUORANTEN	252.0	}	<0.006
BENSO(b)FLUORANTEN	252.0		
BENSO(k)FLUORANTEN	252.0		
BENSO(e)PYREN	252.0	<0.003	<0.0003
BENSO(a)PYREN	252.0	<0.003	<0.0003
PERYLEN	252.0	0.027	0.0027
INDENO(1,2,3-cd)PYREN	276.0	<0.005	<0.0005
BENSO(g,h,i)PERYLEN	276.0	<0.005	<0.0005
ANTANTREN	276.0	<0.005	<0.0005
DIBENSO(a,h)ANTRACEN	278.0	}	<0.009
DIBENSO(a,c)ANTRACEN	278.0		
CORONEN	300.0	0.012	0.0012

Analysen av halten totala kolväten (flyktiga organiska ämnen, VOC) visade på en halt av 0,14 mg/m³ i växthuset och 0,08 mg/m³ i förbränningsgasen i rörledningen.

Areamätning

Figur 5 visar resultatet av areamätningen. Värdena ligger på ungefär samma nivåer som tidigare redovisats för kolmonoxid och kväveoxider.

Expositions-mätning

Analysen av påsproverna visade på följande halter:

Koldioxid	1 000 ppm
Kolmonoxid	< 20 ppm
Nitrösa gaser (NO + NO _x)	< 5 ppm

Tecknet < innebär att ämnets koncentration i provet låg under metodens detekteringsgräns.

Tabell 2. Halter av polyaromatiska kolväten i stadsluft i Solna

Förening	Prov nr				
	333	342	443	455	469
Fenantren	0.330	0.16	0.20	0.24	0.092
Antracen	0.057	0.14**	0.17	0.093	0.034
Fenylnaftalen	0.051	0.045	0.034	0.051	<0.02
Fluoranten	0.22	0.15	0.080	0.23	0.23
Dihydrobenzo (a/b) - fluoren	0.066	0.045	<0.015	0.081	0.068
Pyren	0.16	0.16	0.04	0.20	0.22
Benz (ghi) fluoranten	*	*	*	*	*
Cyklopenteno c,d-pyren	0.14	0.15	0.16	0.21	0.16
Benz (a) antracen	0.14	0.21	0.14	0.20	0.47
Chrysen/trifenylen	0.48	0.21	0.14	0.20	0.47
Benzo (k) fluoranten	~0.30*	0.31*	0.37*	0.49*	0.68*
Benzo (j) fluoranten	~0.30*	0.27*	0.39*	0.44*	0.68*
Benzo (e) pyren	0.042	0.20	0.20	0.24	0.47
Benzo (cd) pyrenon	0.010**	0.07**	0.06**	0.07**	0.21**
Benzo (a) pyren	0.13	0.33	0.12	0.29	0.76
Perylen	<0.01	0.031	<0.01	0.02	0.27
Indeno (123-cd) -pyren	0.11	0.51	0.18	0.27	0.24
Benzo (ghi) pyren	0.40	1.03	0.35	0.48	0.91
Antratren	<0.09	0.18	<0.09	<0.06	<0.17
Coronen	~0.15	0.60	0.24	<0.12	0.21
Σ PAH	3.2	4.9	3.2	4.2	5.9

* Osäker kvantifiering p g a kontamination.

** Osäker kvantifiering p g a ofullständig separation.

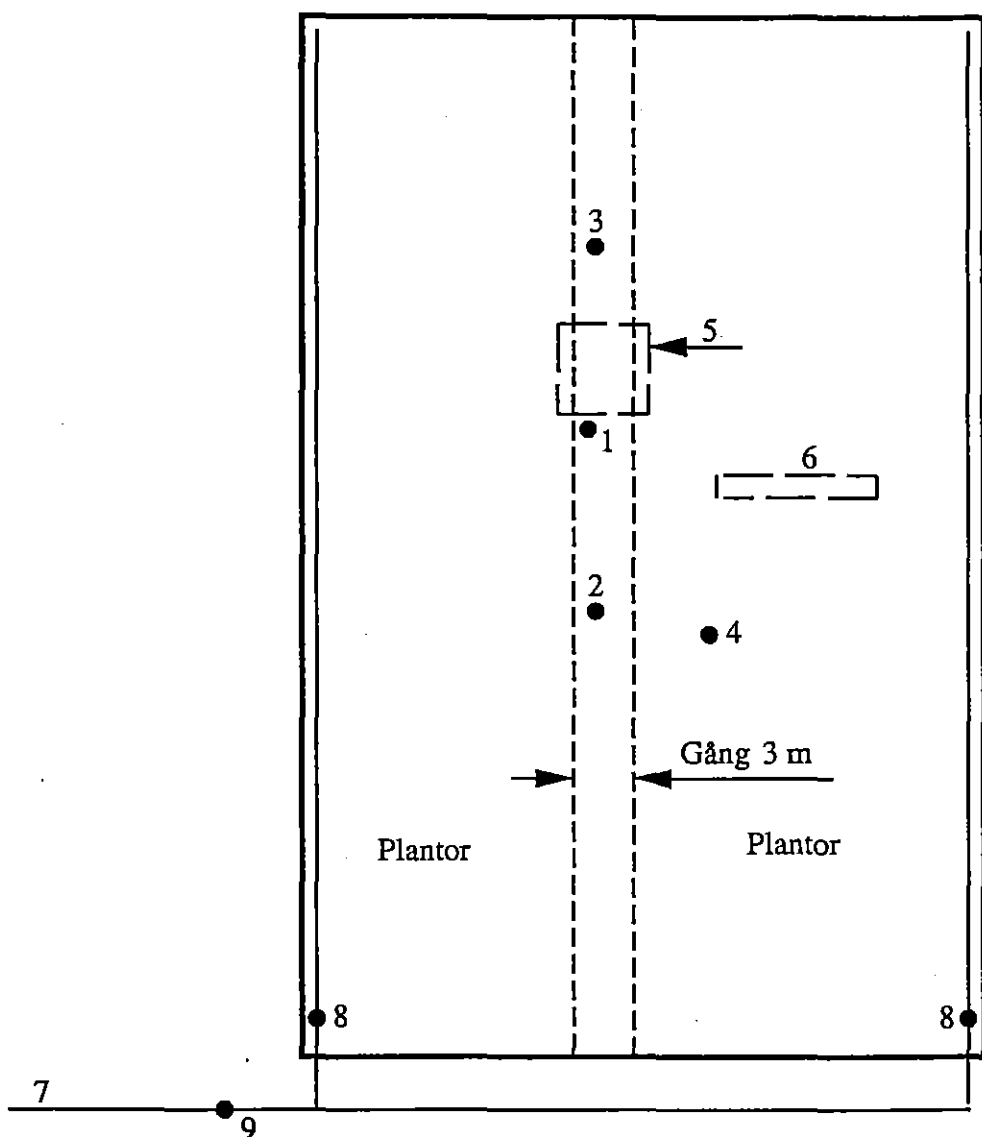
Resultatet är helt i överensstämmelse med de halter som uppmätts med mätsonden i mät-punkt 1.

Luftomsättning

Med ledning av den utförda mätningen av CO₂-haltens avklingning har luftomsättningen beräknats till 0,4 omsättningar/h vid stängda vädringsluckor.

Gasflödet

Mätningarna visade att medelflödet av förbränningsgas in till växthuset var ca 1 700 m³/h.



- 1 Mät punkt för CO, CO₂, NO, NO₂ och NO_x
- 2 Mät punkt för total kolväten (höjd 1 m)
- 3 Mät punkt för polyaromater (höjd 1 m)
- 4 Permanent CO₂-mätare för reglering av CO₂-halten i växthuset
- 5 Område för s k areamätning (utsträckning i höjddled 0,5 - 2 m)
- 6 Område för påsprover
- 7 Inkommande ledning för förbränningsgaser
- 8 Mät punkter för gasflödesmätning
- 9 Mät punkt för CO, CO₂, NO, NO₂ och NO_x i förbränningsgaserna i inkommande rörledning

Fig 1. Skiss över växthusdel där mätningarna utfördes inklusive mät punkter

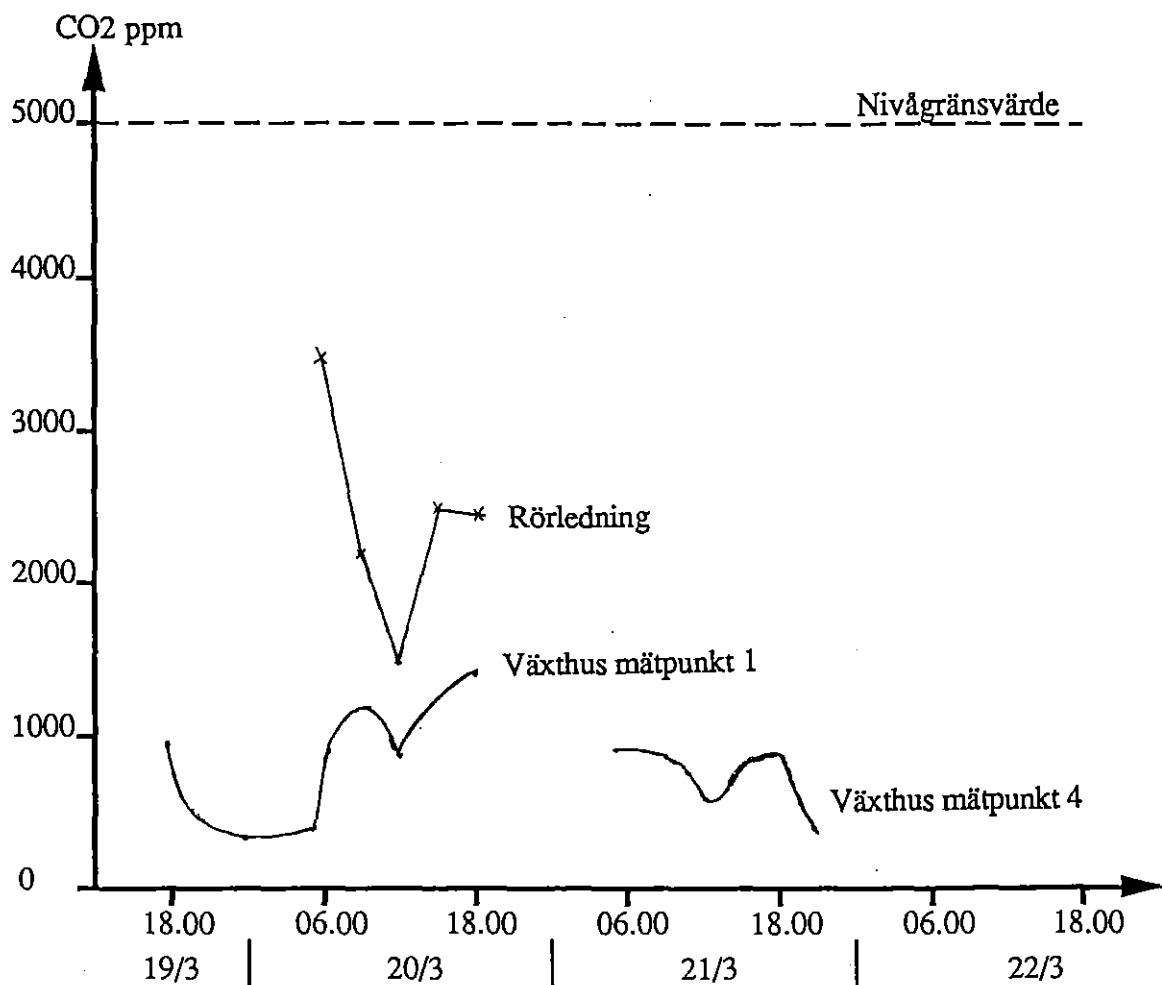


Fig 2. Koldioxidhaltens variation i tiden

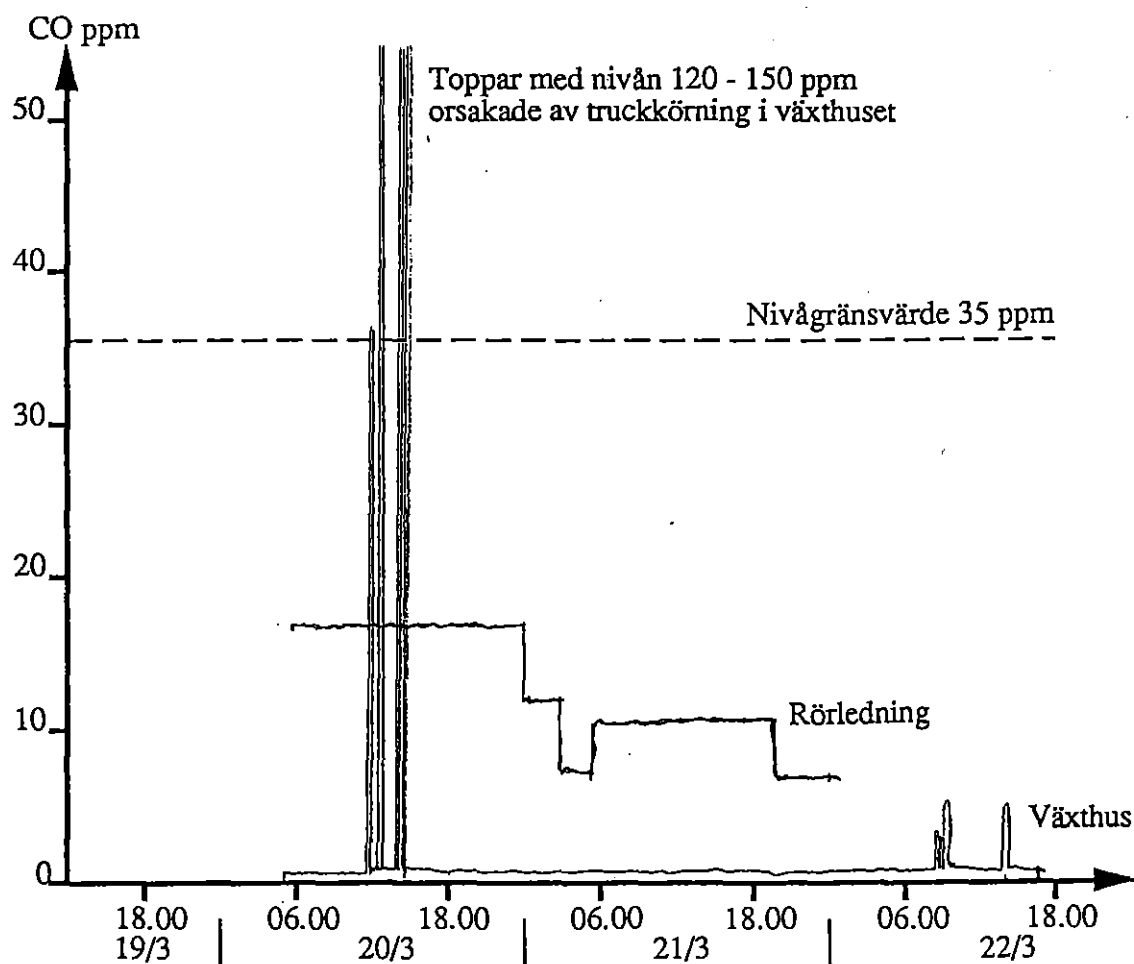


Fig 3. Kolmonoxidhaltens variation i tiden

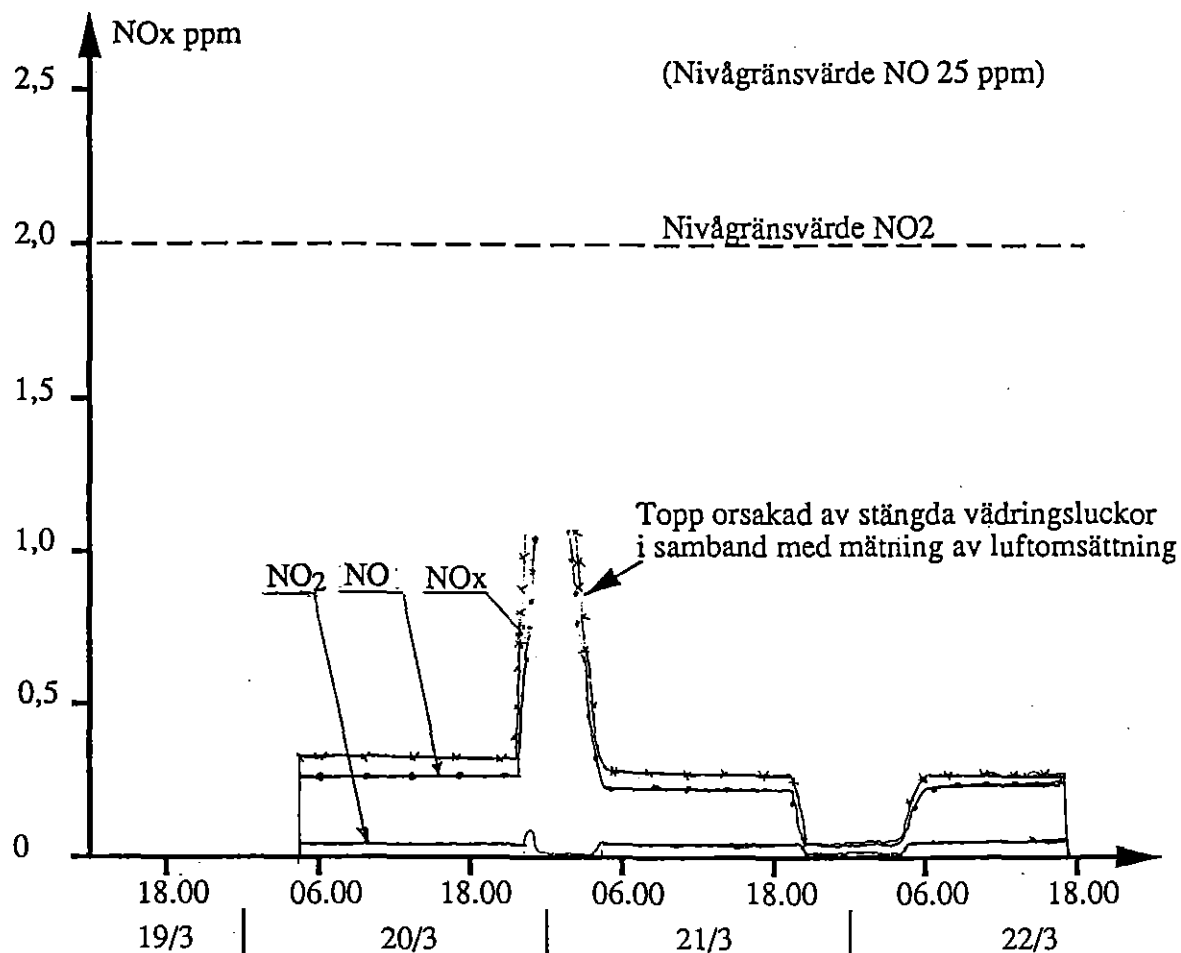


Fig 4:1. Kväveoxidhaltens variation i tiden i växthuset

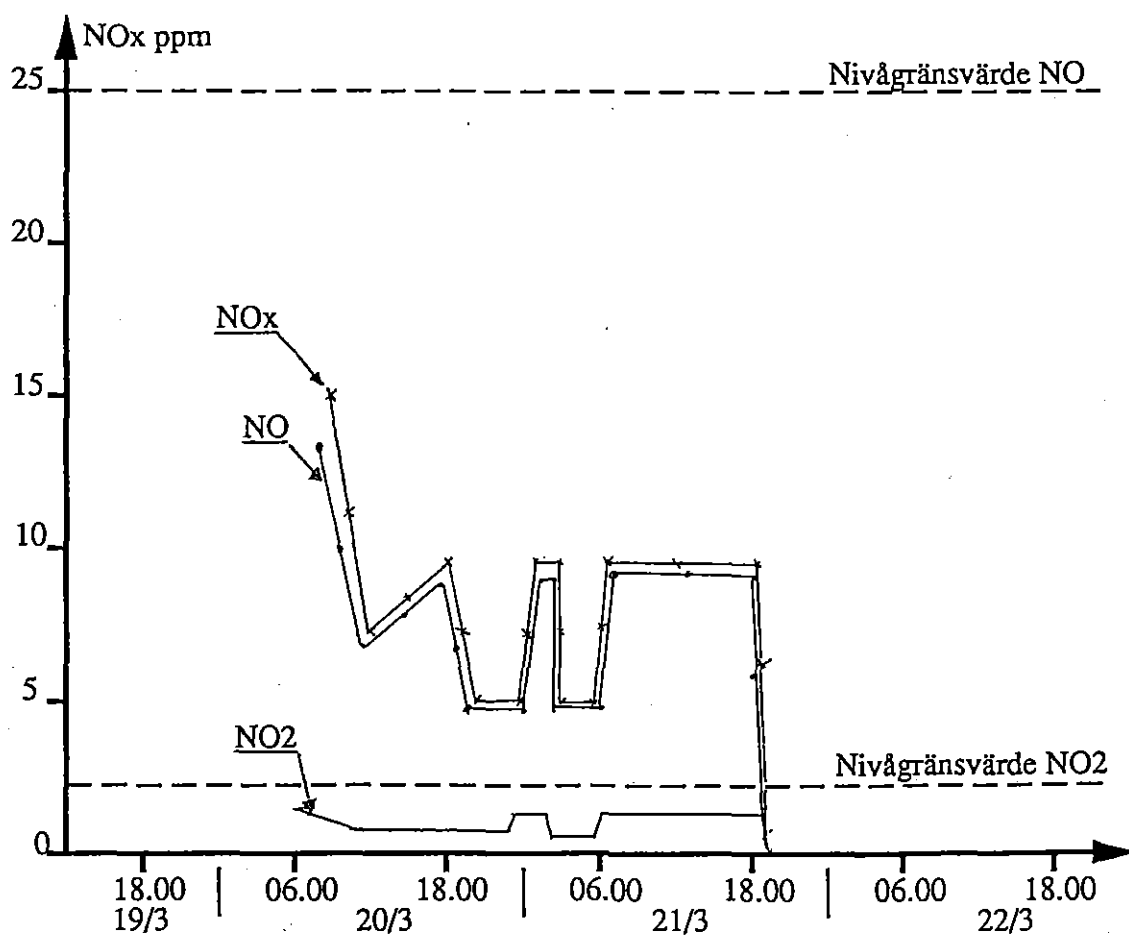


Fig 4:2. Kväveoxidhaltens variation i tiden i rörledningen

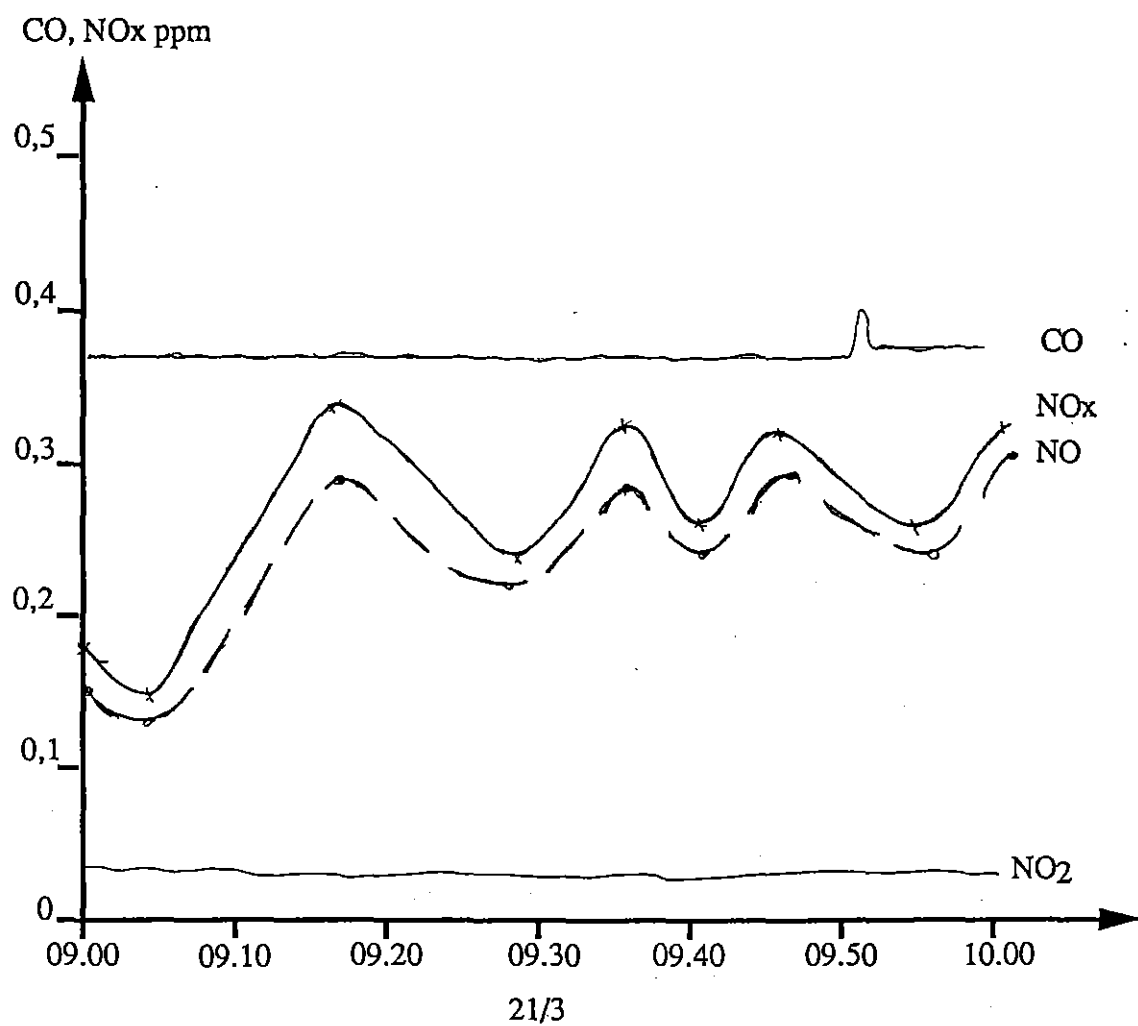


Fig 5. Resultat av areamätning avseende CO, NO_x, NO och NO₂

92-09-22

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
003	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 3	Apr 91	Svenskt Gastekniskt Center AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning		R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB920212	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
008	Catalogue of gas technology RD&D projects in Sweden (På engelska)	Jul 91	Swedish Gas Technology Center	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Institut. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50

92-09-22

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	0
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projektering AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center AB	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150