

NILU : TR 6/95  
REFERANSE : E-95028  
DATO : JUNI 1995  
ISBN : 82-425-0677-9

**Luftforurensning  
fra vedfyring:  
Sammenfatning av  
undersøkelser 1981-87**

**Jørgen Schjoldager**



**NILU**

**Norsk institutt for luftforskning**  
Norwegian Institute for Air Research  
Postboks 100 - N-2007 Kjeller - Norway

# Innhold

	Side
<b>Sammendrag og konklusjon .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Innledning .....</b>	<b>5</b>
1.1 Fossilt og biogent brensel .....	6
<b>2. Undersøkelser i Elverum 1981-87.....</b>	<b>7</b>
2.1 Målinger 1981-83.....	8
2.2 Modellberegninger 1986-87 .....	9
<b>3. Resultater og diskusjon.....</b>	<b>10</b>
3.1 Målinger 1981-83.....	10
3.1.1 Respirable partikler og sot.....	10
3.1.2 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) .....	11
3.1.3 Karbon .....	12
3.1.4 Kalium .....	12
3.1.5 Bly .....	13
3.2 Modellberegninger 1986-87 .....	13
3.2.1 Utslipp .....	13
3.2.2 Utslippsfaktorer.....	14
3.2.3 Spredningsforhold.....	14
3.2.4 Valg av beregningsmodell .....	15
3.2.5 Beregninger for en vinterperiode.....	15
3.2.6 Beregninger for et kaldt døgn.....	20
3.3 Sammenlikning mellom utslipp fra fyring med olje/parafin og ved.....	24
3.4 Sluttkommentar .....	25
<b>4. Referanseliste .....</b>	<b>25</b>

## Sammendrag og konklusjon

Vedfyring har fått økende oppmerksomhet i de siste 10-20 åra, særlig på steder med mye tilgjengelig trevirke. Salg av vedovner hadde en sterk økning etter prisøkningene på olje i 1970-åra.

I Norge er ennå elektrisitet relativt billig og lett tilgjengelig for boligoppvarming, og det er ikke uten videre sikkert at økt salg av ovner har ført til en like stor økning i bruken av dem. Bruken av ved vil også være avhengig av prisen på flytende brensel. Men det er grunn til å anta at med økte priser på olje og elektrisitet vil vedfyring kunne bli mer aktuelt også i vårt land. Særlig gjelder dette på steder der ved kan skaffes billig ved sjølhogst.

Blant de viktigste luftforurensningene fra vedfyring er:

- partikler (sot og svevestøv)
- organiske stoffer, bl.a. polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og andre tjærestoffer
- andre delvis oksiderte organiske stoffer, som alkoholer, aldehyder, organiske syrer m.fl.

Flere av disse stoffene kan ha negative effekter på menneskers helse og trivsel.

Vi målte luftforurensning fra vedfyring i Elverum vintrene 1981-83. Elverum ble valgt som et tettsted i det indre av Østlandet med lave vintertemperaturer og god tilgang på ved både ved kjøp og sjølhogst.

Målingene foregikk særlig på de to målestedene Elverum og Strandstykket. Målestedet Elverum var ca. 1 km sør for senteret i tettstedet i et område med småhusbebyggelse av varierende alder. Målestedet Strandstykket var ca. 2 km nord for senteret i tettstedet i et område med nyere rekkehusbebyggelse.

Vi målte særlig følgende stoffer:

- respirable partikler og sot
- polysykliske organiske hydrokarboner (PAH)
- totalt karbon og karbon-14
- kalium
- bly

Karbon-14 er en radioaktiv isotop som fins naturlig i atmosfærens karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ). Det er dannet ved bl.a. kosmisk stråling. Halveringstida er 5730 år. Det vil si at biomasse har et innhold av karbon-14 som tilsvarer atmosfærens  $\text{CO}_2$ , mens fossilt brensel ikke inneholder karbon-14. Ved å analysere totalt karbon og karbon-14 får vi kjennskap til hvor mye av karbonet som kommer fra biomasse. Ut fra vår informasjon var U.S. National Bureau of Standards, Washington D.C., USA, det eneste laboratoriet som kunne måle karbon-14 i så små mengder som i prøver av luftforurensning.

Det ble analysert 16 døgnprøver fra målestedet Elverum i 1982 og 14 døgnprøver fra målestedet Strandstykket i 1983. Døgnene ble inndelt i to kategorier, "kald" og "mild", med middeltemperatur lavere enn ca.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  for "kald" og høyere enn ca.  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  for "mild". For hver av de to kategoriene kald og mild ble middelkonsentrasjoner beregnet for respirable partikler, sot, PAH, karbon, kalium og bly.

For alle stoffene var middelkonsentrasjonen vesentlig høyere på kalde døgn enn på milde døgn. Dette henger sammen med en kombinasjon av større utslipp og dårligere spredningsforhold på kalde døgn. Konsentrasjonen av respirable partikler, sot og PAH var av omtrent samme størrelse som i større byer som Oslo og Drammen på 1980-tallet.

Karbon fra biomasse utgjorde 55-75 % av totalt karbon på milde døgn og 75-90 % på kalde døgn, noe som klart tyder på at vedfyring spiller en stor rolle, særlig på kalde døgn.

På grunnlag av måleresultater for kalium, og antakelsen om at partikler fra vedfyring har et kaliuminnhold på 0,8 %, fant vi at vedfyring bidro med 30-60 % av konsentrasjonen av respirable partikler. Bidraget fra vedfyring var altså betydelig.

Ved å regne med at partikler fra trafikk hadde et innhold av bly på 10 % i 1982-83, fant vi at trafikken bidro med 3-6 % av konsentrasjonen av respirable partikler. Bidraget fra trafikken var altså svært lite.

Vi har beregnet spredning over tettstedet Elverum og vist konsentrasjoner av respirable partikler, PAH og kalium for en vinterperiode og et kaldt døgn. Vi brukte utslippsfaktorer for respirable partikler, PAH og kalium, forbrukstall for olje/parafin og ved, tilgjengelige data for trafikk tetthet, vindmålinger for to vinterperioder, og anslåtte data for stabilitetsforhold. Vi fant brukbart samsvar mellom beregninger og målinger. De største bidragene til respirable partikler og PAH kom fra vedfyring.

Ved å sammenlikne utslippsfaktorer for respirable partikler og PAH fant vi at pr. netto energienhet var utslipp fra vedfyring en faktor på ca. 120 større enn fra fyring med olje/parafin. For Elverum tettsted var utslippet av respirable partikler og PAH fra fyring med ved en faktor på ca. 20 større enn fra fyring med olje/parafin, til tross for at vedfyring bare utgjorde en liten del av energiforsyningen.

# Luftforurensning fra vedfyring:

## Sammenfatning av undersøkelser 1981-87

### 1. Innledning

Vedfyring har fått økt oppmerksomhet i de siste 10-20 åra på steder med mye tilgjengelig trevirke. Salg av vedovner har hatt en sterk økning siden prisøkningene på olje i 1970-åra.

I Norge er ennå elektrisitet relativt billig og lett tilgjengelig for boligoppvarming, slik at det ikke uten videre er sikkert at økt salg av ovner har resultert i en like stor økning i bruken av dem. Bruken av ved vil også være avhengig av prisen på flytende brensel. Men er det grunn til å anta at med økte priser på olje og elektrisitet vil vedfyring kunne bli mer aktuelt også i vårt land. Særlig gjelder dette steder der ved kan skaffes billig ved sjøhogst.

I 1950-åra og 1960-åra avtok forbruket av ved kraftig. I 1970-åra og 1980-åra økte forbruket igjen, bl.a. som følge av økte energipriser.

Luftforurensning fra fyring med ved og annen biomasse er dels lik og dels ulik luftforurensning fra fyring med andre energibærere. Dette er illustrert i tabell 1, som viser en del stoffer som slippes ut fra ulike energianlegg.

Tabell 1: Utslipp fra energianlegg.

Energi-bærer	Svovel-forb.	Nitrogen-forb.	Halogen-forb.	Karbon-forb.	Metaller	Partikler
Kull	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	HCl	PAH Sot CO <sub>2</sub>	Cr Cd Hg m.fl.	Svevestøv
Olje	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>		PAH Sot CO <sub>2</sub>	V Ni	Svevestøv
Gass		NO <sub>x</sub>		Hydro-karboner CO <sub>2</sub>		
Biomasse		NO <sub>x</sub>		PAH Sot Aldehyder Benzen		Svevestøv
Avfall		NO <sub>x</sub>	HCl Org.Cl*	CO <sub>2</sub>		Svevestøv

\*Org.Cl: Organiske klorforbindelser.

De viktigste luftforurensningene fra fyring med ved og annen biomasse er:

- partikler (sot og svevestøv)
- organiske stoffer (bl.a. polysykliske organiske hydrokarboner (PAH) og andre tjærestoffer)

Disse stoffene kan ha negative effekter på menneskers helse og trivsel.

I hvilken grad et (eller flere) energianlegg har negative effekter, er avhengig av anleggsspesifikke og stedsspesifikke forhold:

#### **Anleggsspesifikke forhold**

Størrelse  
Brenseltype  
Forbrenningseffektivitet  
Renseutstyr  
Skorsteinshøyde

#### **Stedsspesifikke forhold**

Avstand til annen bebyggelse  
Spredningsforhold  
Topografi

Partikler i tettsteder kan ha flere kilder: fyring med olje og parafin, trafikk og fyring med ved. Partiklene er som oftest svarte og inneholder mye sot, som for det meste inneholder elementært karbon. Partiklene kan også inneholde PAH og annet delvis forbrent materiale. Partikler med diameter mindre enn 2,5  $\mu\text{m}$  kalles finfraksjonen eller  $\text{PM}_{2,5}$ . De føres helt ned i lungene ved innånding. Ofte kalles partikler med diameter mindre enn 5  $\mu\text{m}$  for "respirabel fraksjon" (SFT, 1992).

I tidligere NILU-rapporter ble partikler med diameter mindre enn 2,5-3  $\mu\text{m}$  kalt "respirable partikler" (Ramdahl et al., 1982; Schjoldager et al., 1986). I denne rapporten har vi valgt å beholde termen respirable partikler, selv om finfraksjonen eller  $\text{PM}_{2,5}$  måles med nyere utstyr. I dag er  $\text{PM}_{2,5}$  blant stoffene med anbefalte luftkvalitetskriterier (SFT, 1992).

Vi undersøkte luftforurensning fra vedfyring i tettstedet Elverum, som ligger ved elva Glåma, 30 km øst for Hamar og 120 km nordøst for Oslo. Elverum ble valgt som et tettsted i det indre av Østlandet, med lave vintertemperaturer og god tilgang på ved ved både kjøp og sjølhogst. Folketallet i tettstedet Elverum var ca. 10 000 i 1980 (SSB, 1993).

Målinger i Elverum ble gjennomført som et samarbeid mellom NILU og Senter for industriforskning (nå SINTEF). Analyser av karbon og karbonisotoper er utført av U.S. National Bureau of Standards, Washington D.C., USA, se pkt. 1.1 og pkt. 3.1.3.

### **1.1 Fossilt og biogent brensel**

Både fossilt brensel og biogent brensel inneholder karbon. Mens fossilt brensel (kull, olje og gass) gir fossilt karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), gir biogent brensel (ved og annen biomasse) biogent  $\text{CO}_2$ . Fossilt og biogent  $\text{CO}_2$  har akkurat de samme egenskapene i atmosfæren m.h.t. absorpsjon av varmestråling fra jorda og mulige påfølgende klimaeffekter, og både fossilt og biogent  $\text{CO}_2$  inngår i kretsløpet mellom atmosfæren, havet og biosfæren for øvrig.

Ved og annen biomasse er dannet i vår tid fra atmosfærens eget CO<sub>2</sub> ved fotosyntese. Ved forbrenning tilføres atmosfæren akkurat like mye CO<sub>2</sub> som ble brukt til å danne biomassen.

Det er viktig å merke seg at hvis uttaket av biomasse blir større enn tilveksten, vil karbonbalansen forskyves i negativ regning og den stående "karbonkapitalen" minke. Men i Norden har tilveksten lenge vært større enn uttaket, og derfor har den stående karbonkapitalen vært økende i mer enn 50 år (NMR, 1995).

Det er mulig å skille mellom biogent og fossilt karbon ved å måle isotopen karbon-14. Karbon-14 er en radioaktiv isotop som fins naturlig i små mengder i atmosfærens CO<sub>2</sub>. Det er dannet ved bl.a. kosmisk stråling. Halveringstida er 5730 år. Det vil si at biomasse har et innhold av karbon-14 som tilsvarer atmosfærens CO<sub>2</sub>, mens fossilt brensel ikke inneholder karbon-14. Ved å analysere totalt karbon og karbon-14 får vi kjennskap til hvor mye av karbonet som kommer fra biomasse.

Analyse av karbon-14 blir for øvrig mye brukt til datering av gammelt trevirke og gammel biomasse, som f.eks. oldsaksfunn av tre, eller myrer, torv og annet organisk materiale.

Ut fra vår informasjon var U.S. National Bureau of Standards, Washington D.C., USA, det eneste laboratoriet som kunne analysere karbon-14 i så små mengder som i prøver av luftforurensning.

## 2. Undersøkelser i Elverum 1981-87

Vi utførte målinger i Elverum i 1981-83 og modellberegninger i 1986-87. Undersøkelsene ble rapportert i 1982, 1986 og 1987 (Ramdahl et al., 1982; Schjoldager et al., 1986; Haugsbakk og Schjoldager, 1987).

Energibruken i Elverum i 1980 ble undersøkt av firmaet Siv.ing. Rolf Aalerud A/S på oppdrag fra Elverum elektrisitetsverk, som en del av en varmeplan for Elverum. Data er gjengitt i tabell 2-3. Energibærerne var elektrisitet, lett fyringsolje, parafin og ved. Bruken av kull, koks og tung fyringsolje var ubetydelig.

Tabell 2: Netto energibruk i Elverum tettsted 1980. Data fra Siv.ing. Rolf Aalerud A/S (1982).

	GWh	%
Elektrisitet, lys og maskiner	65	36
Elektrisitet, oppvarming	50	28
Olje/parafin, oppvarming	60	34
Ved, oppvarming	4	2
Sum	179	100

Tabell 3: Virkningsgrad og brutto forbruk av olje/parafin og ved. Data fra Siv. ing. Rolf Aalerud A/S (1982).

	Virkningsgrad	Brutto forbruk (tonn)
Olje/parafin	0,7	6700
Ved	0,3	2600

I tabell 3 er vedforbruket i Elverum beregnet til 2600 tonn i 1980. I en annen undersøkelse beregnet en gruppe ved Universitetet i Oslo vedforbruket til 4200 tonn (Pedersen et al., 1982). Denne forskjellen bør ikke være overraskende. Det er viktig å være klar over at alle data for vedforbruk er usikre, fordi tilvirking og omsetning av ved ofte skjer i uorganiserte former.

## 2.1 Målinger 1981-83

Måleperioden i Elverum startet i 1981 med noen orienterende målinger på målestedet Elverum ca. 1 km sør for senteret i tettstedet, se figur 1. Målestedet Elverum var i et område med småhusbebyggelse av varierende alder, og ble antatt å representere den generelle tettstedsforurensningen.

Målingene fortsatte i 1982 på målestedene Elverum og Strandfossen. Strandfossen var ca. 3 km nord for senteret i tettstedet, og er vesentlig mindre påvirket av tettstedsforurensningen, se figur 1.

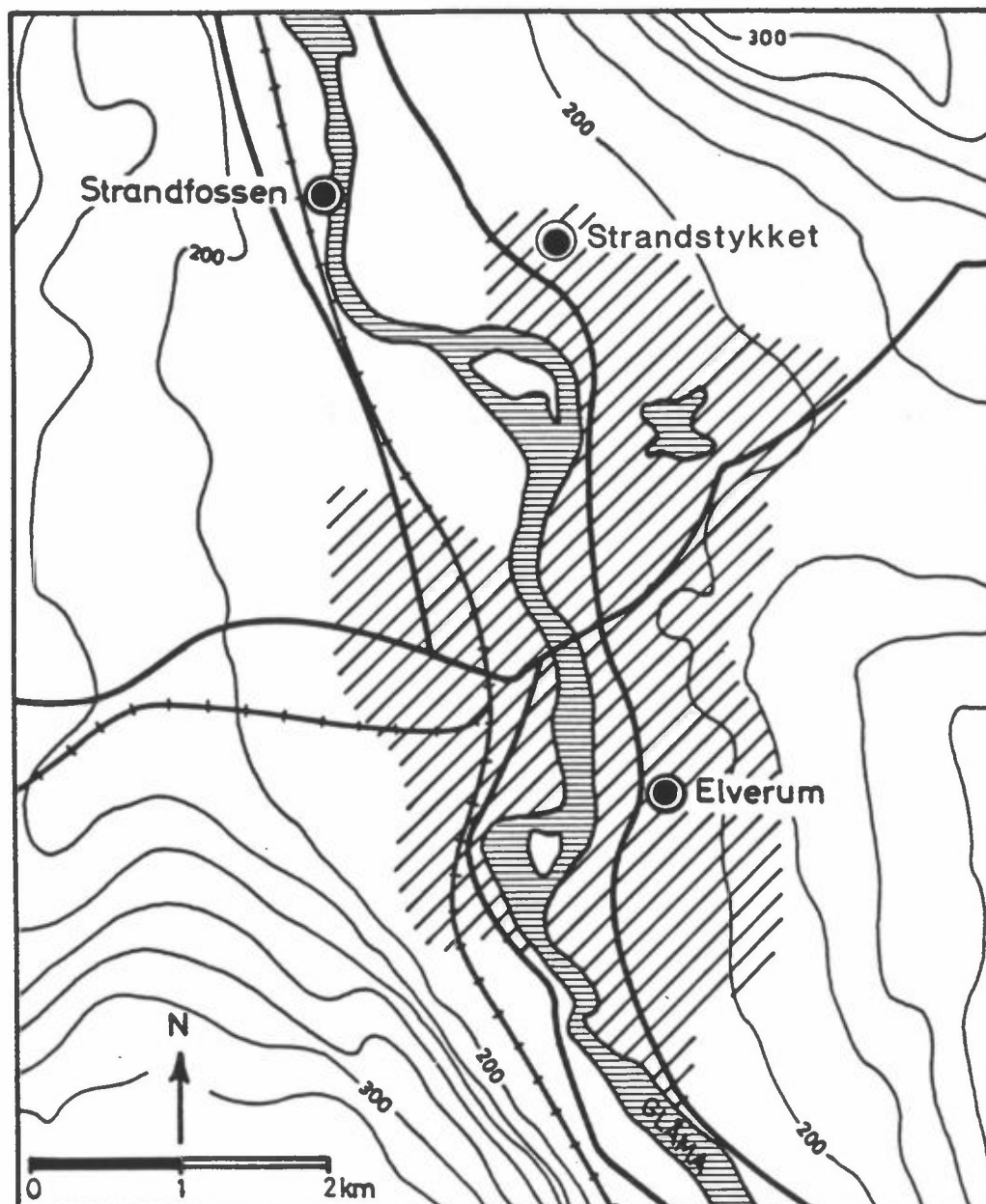
I 1983 fortsatte målingene på Strandstykket, ca. 2 km nord for senteret i tettstedet, i et område med nyere rekkehusbebyggelse. Strandstykket ble valgt som målested fordi luftforurensninger fra andre kilder enn vedfyring ble antatt å være små. Biltrafikken inne i boligområdet er sterkt begrenset, og hovedoppvarmingen skjer med elektrisitet. Om lag halvparten av boligene bruker ved som tilleggsoppvarming. Boligområdet ligger i nordkanten av tettstedet Elverum, se figur 1.

Måleprogrammet omfattet særlig mengde og sammensetning av partikler, men også enkelte gassformige komponenter. Målingene i 1982 omfattet polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) på partikler, sulfat, kalium (K), bly (Pb) og enkelte andre metaller (i alt ti inkl. K og Pb). Målingene i 1983 omfattet PAH i både gassfase og partikkelfase, sulfat, K, Pb og enkelte andre metaller (i alt sju inkl. K og Pb). Totalt karbon og karbon-14 ble målt både i 1982 og 1983.

Partikkelmålingene ble gjort ved hjelp av et impaktortrinn for å skille ut partikler med diameter større enn 2,5-3  $\mu\text{m}$  (egentlig 3  $\mu\text{m}$  i 1982 og 2,5  $\mu\text{m}$  i 1983). Partiklene er kalt "respirable partikler", jfr. kapittel 1.

Vindstyrke og vindretning ble målt kontinuerlig i en 10 m-mast på Strandfossen vintrene 1982 og 1983. Utetemperatur ble avlest rutinemessig på Elverum brannstasjon fem ganger pr. døgn.





Figur 1: Kartskisse av Elverum med målesteder inntegnet. Tettbebyggelse er skravert.

## 2.2 Modellberegninger 1986-87

Vi gjorde spredningsberegninger for stoffer som særlig slippes ut fra vedfyring i Elverum. Slike beregninger har fordel framfor målinger ved at konsentrasjonsfordelingen i tettstedet blir bedre beskrevet, og det blir enklere å skille ut bidrag fra ulike kildegrupper.

I denne rapporten er spredningsberegninger gjengitt for disse stoffene:

- Respirable partikler
- Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)
- Kalium (K)

Med respirable partikler menes her partikler med diameter mindre enn ca. 2,5  $\mu\text{m}$ , og som derved bringes ned i lungene ved innånding.

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) består av en rekke komponenter og slippes ut fra både oljefyring, vedfyring og trafikk. Beregningene gjelder PAH på partikler i lufta.

Kalium (K) fins i trevirke og annen biomasse og er derfor et sporstoff for fyring med biomasse.

### 3. Resultater og diskusjon

#### 3.1 Målinger 1981-83

Det ble i alt innsamlet 16 døgnprøver fra målestedet Elverum i 1982 og 14 døgnprøver fra målestedet Strandstykket i 1983, se figur 1. Døgnene ble inndelt i to kategorier, kald og mild. Et kaldt døgn hadde middeltemperatur lavere enn ca. -10 °C, mens et mildt døgn hadde middeltemperatur høyere enn ca. 0 °C. For hver av de to kategoriene kald og mild ble middelkonsentrasjoner beregnet for respirable partikler, sot, PAH, karbon, kalium og bly.

##### 3.1.1 Respirable partikler og sot

Konsentrasjoner er gjengitt for Elverum i 1982 og Strandstykket i 1983 (tabell 4). Det var begge steder vesentlig høyere middelkonsentrasjoner på kalde døgn enn på milde døgn. Det samme var tilfellet for sot, som ble målt på Strandstykket i 1983, se tabell 5.

Tabell 4: Måleresultater for respirable partikler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Elverum 1982 og Strandstykket 1983.

	Elverum 1982		Strandstykket 1983	
	Middelverdi	Maksimum	Middelverdi	Maksimum
Kalde døgn	69	101	62	78
Milde døgn	36	42	35	40

Tabell 5: Måleresultater for sot ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Strandstykket 1983.

	Middelverdi	Maksimum
Kalde døgn	40	49
Milde døgn	20	22

Konsentrasjonen av respirable partikler og sot var om lag en faktor på 2 høyere på kalde døgn enn på milde døgn. Konsentrasjonsøkningen har sammenheng med økte utslipp og dårligere spredningsforhold på kalde døgn.

Konsentrasjonen av respirable partikler i Elverum tettsted var sammenliknbar med målinger på 1980-tallet i sentrum av større byer som Oslo og Drammen, som vist i tabell 6.

Tabell 6: *Konsentrasjoner av respirable partikler i sentrum av Oslo og Drammen på 1980-tallet.*

	Middelverdi	Maksimum
Oslo vinter 1980, referansestasjon sentrum (Larsen, 1982)	49	71
Drammen vinter 1986, referansestasjon sentrum (Hagen og Schjoldager, 1986)	29	72

### 3.1.2 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

PAH er en gruppe stoffer som slippes ut ved ufullstendig forbrenning av fossilt og biogent brensel. PAH har flere typer av kilder i Elverum tettsted, bl.a. oljefyring, vedfyring og trafikk. PAH er kreftframkallende og fins i bl.a. tobakksrøyk.

PAH ble målt på målestedet Elverum i 1982 og målestedet Strandstykket i 1983. I 1982 ble bare partikulært PAH innsamlet, mens både gassformig og partikulært PAH ble innsamlet i 1983. Prøvene ble fordelt mellom kalde og milde døgn, se tabell 7 og 8. I tabell 7 er det også tatt med noen måleresultater for sentrumsområder i Oslo og Drammen.

Tabell 7: *Måleresultater for partikulært PAH (ng/m<sup>3</sup>), Elverum 1982, sammenliknet med målinger i Oslo og Drammen.*

	Middelverdi	Maksimum
<b>Elverum, 1982</b>		
Kalde døgn	254	497
Milde døgn	34	48
<b>Oslo, vinter 1979</b>		
Referansestasjon sentrum (Olufsen og Alfheim, 1980)	149	355
<b>Drammen, vinter 1986</b>		
Referansestasjon sentrum (Hagen og Schjoldager, 1986)	133	212

Tabell 8: *Måleresultater for gassformig og partikulært PAH (ng/m<sup>3</sup>), Strandstykket 1983.*

	Middelverdi			Maksimum		
	Gasser	Partikler	Sum	Gasser	Partikler	Sum
Kalde døgn	555	147	702	839	202	1041
Milde døgn	386	67	453	477	88	565

Som for respirable partikler og sot var det tydelige konsentrasjonsforskjeller for PAH mellom kalde og milde døgn. Også for PAH var konsentrasjonen sammenliknbar med målinger i sentrumsområder i Oslo og Drammen i omtrent de samme tidsperiodene.

### 3.1.3 Karbon

Totalt karbon og karbon fra biomasse er bestemt av U.S. National Bureau of Standards, Washington D.C., USA. Det ble analysert 12 prøver fra målestedet Elverum i 1982 og 10 prøver fra målestedet Strandstykket i 1983. Prøvene ble fordelt på kalde og milde døgn, som vist i tabell 9. Som for respirable partikler, sot og PAH var det tydelige konsentrasjonsforskjeller mellom kalde og milde døgn. Andelen av karbon fra biomasse var også høyest for kalde døgn, noe som tyder på at vedfyring spiller en stor rolle, særlig på kalde døgn.

Tabell 9: Totalt karbon og karbon fra biomasse ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Elverum 1982 og Strandstykket 1983.

	Elverum 1982			Strandstykket 1983		
	Totalt karbon	Karbon fra biomasse	%	Totalt karbon	Karbon fra biomasse	%
Kalde døgn	28	21	75	35	31	89
Milde døgn	7,0	3,9	56	18	13,5	75

### 3.1.4 Kalium

Kalium ble analysert i prøvene fra målestedet Elverum i 1982 og målestedet Strandstykket i 1983, og fordelt på kalde og milde døgn som vist i tabell 10. Som for de tidligere nevnte stoffene var det tydelige konsentrasjonsforskjeller mellom kalde og milde døgn.

Tabell 10: Konsentrasjoner av kalium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ), Elverum 1982 og Strandstykket 1983.

	Elverum 1982		Strandstykket 1983	
	Middelverdi	Maksimum	Middelverdi	Maksimum
Kalde døgn	252	424	172	225
Milde døgn	147	218	95	120

Målingene av kalium gir grunnlag for å beregne bidrag fra vedfyring til konsentrasjonen av respirable partikler. Ved å regne med at partikler fra vedfyring har et kaliuminnhold på 0,8 % (Dasch, 1982), fant vi at vedfyring bidro med 40-60 % av partikkelkonsentrasjonen på målestedet Elverum i 1982, og 30-40 % på målestedet Strandstykket i 1983. Slike beregninger er usikre, men de kan likevel vise at vedfyring har gitt et betydelig bidrag til konsentrasjonen av respirable partikler.

### 3.1.5 Bly

Bly ble analysert i prøvene fra målestedet Elverum i 1982 og målestedet Strandstykket i 1983, og fordelt på kalde og milde døgn som vist i tabell 11. Også her var det tydelige konsentrasjonsforskjeller mellom kalde og milde døgn.

Tabell 11: Konsentrasjon av bly ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ), Elverum 1982 og Strandstykket 1983.

	Elverum 1982		Strandstykket 1983	
	Middelverdi	Maksimum	Middelverdi	Maksimum
Kalde døgn	406	607	155	200
Milde døgn	145	213	138	145

Særlig fram til første del av 1980-åra var bly et viktig sporstoff for trafikk, fordi bly var tilsetningsstoff til bilbensin. Siden midten av 1980-åra har blyfri bensin vært solgt i økende grad, og fra og med modellåret 1989 skal alle bensindrevne personbiler være utstyrt med katalysator og derfor bare bruke blyfri bensin. Salget av blyfri bensin har stadig vært økende, og utgjorde i 1994 mer enn 90 % av totalsalget.

Målingene av bly i 1982 og 1983 gir mulighet til å beregne bidrag fra trafikken til konsentrasjonen av respirable partikler. Ved å regne med at partikler fra trafikken inneholdt 10 % bly i 1982-83, fant vi at trafikken bidrag til partikkelkonsentrasjonen var 4-6 % på målestedet Elverum i 1982 og 3-4 % på målestedet Strandstykket i 1983. Selv om slike beregninger er usikre, kan vi likevel slutte at trafikken bare har gitt et lite bidrag til konsentrasjonen av respirable partikler.

## 3.2 Modellberegninger 1986-87

### 3.2.1 Utslipp

Vi vurderte utslipp fra oljefyring, vedfyring og trafikk.

#### a) Oljefyring

Forbruket av olje i Elverum i 1980 var undersøkt av Siv.ing. Rolf Aalerud A/S, som en del av en varmeplan for Elverum. Oppdragsgiver var Elverum elektrisitetsverk. Siv.ing. Rolf Aalerud A/S stilte velvilligst grunnlagsmaterialet til disposisjon for NILU. Det besto av oljeforbruk i tettstedet og ca. 100 enkeltutslipp, bl.a. handelsbedrifter, industribedrifter og bolighus. Alt forbruk var lett fyringsolje eller parafin. Samlet forbruk var ca. 8000  $\text{m}^3/\text{a}$  (ca. 6700 t/a).

Vi fordelte utslippene i et rutenett på 300 m x 300 m i tettstedet. Av mangel på mer detaljerte data antok vi at det årlige forbruket skjedde jamt over fire vintermånedene. Forbruket i et kaldt døgn ble antatt å være 50 % større enn gjennomsnittlig.

#### b) Vedfyring

Årlig forbruk av ved ble anslått til 3400 t/a, som er gjennomsnitt av data fra Siv.ing. Rolf Aalerud A/S (2600 t/a) og Universitetet i Oslo (4200 t/a), se side 8.

Fordeling av vedforbruket over tettstedet og over tid var vanskelig, fordi svært få data forelå. Vi kjenner til at ved har vært mye brukt i en del nyere boligområder i utkanten av tettstedet. Vi har også grunn til å anta at ved ikke ble brukt som hovedenergibærer, men som tilskudd i kalde perioder og ellers etter behov.

I beregningene delte vi tettstedet inn i tre kategorier, ikke vedfyring, lite vedfyring og mye vedfyring, der mye vedfyring var 30 % mer enn lite vedfyring. Vi antok at veden ble brukt jamt over tre vintermånedene, og at forbruket i et kaldt døgn var det dobbelte av gjennomsnittlig forbruk pr. døgn.

### c) Trafikk

Trafikkarbeidet er gitt som antall bil-km pr. døgn. Trafikkarbeidet ble anslått på grunnlag av trafikkellingsdata fra Elverum kommune og vår erfaring fra andre trafikkundersøkelser. Det ble antatt at trafikken fordelte seg jamt over året. Dette er neppe helt riktig, men en noe større trafikk om sommeren kan antakelig oppveies av et noe større utslipp pr. km om vinteren.

## 3.2.2 Utslippsfaktorer

Utslippsfaktorer er gitt i tabell 12.

Tabell 12: Utslippsfaktorer brukt i Elverum.

	Respirable partikler	PAH	Kalium
Oljefyring (g/m <sup>3</sup> )	300	0,84	0
Vedfyring (g/tonn)	15 000	40	120
Trafikk (g/km)	0,23	0,0025	0

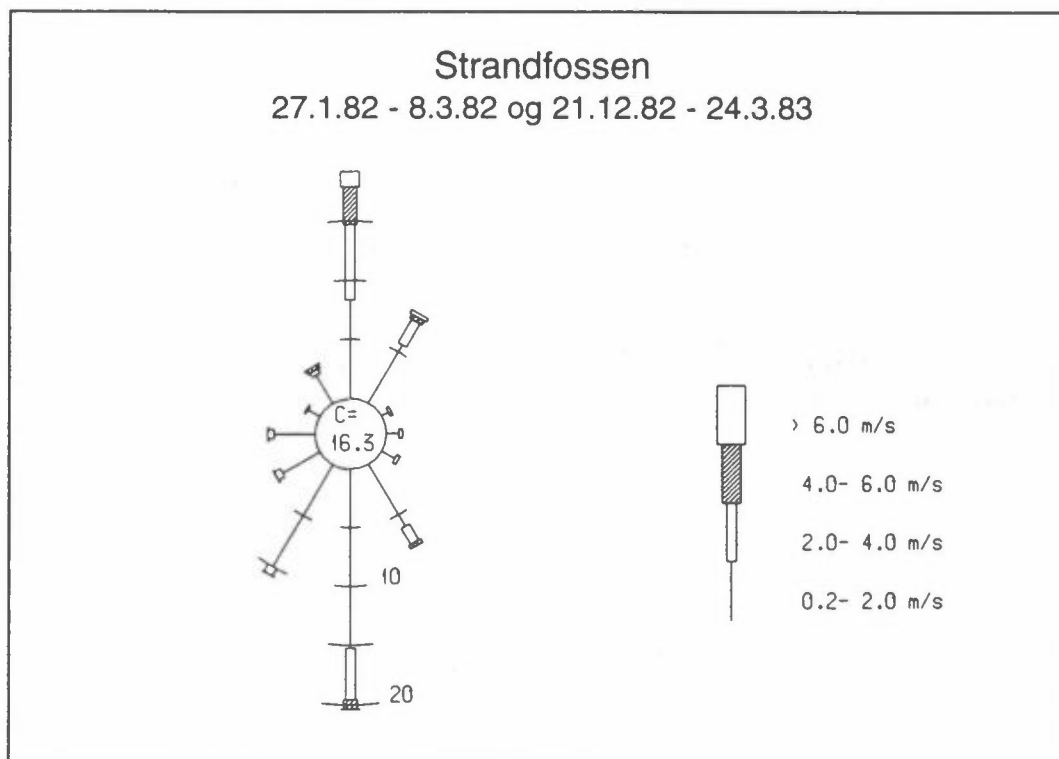
Utslippsfaktorene for vedfyring er usikre, og særlig gjelder dette partikler og PAH. For partikler fins et stort antall verdier i litteraturen, og de fleste ligger mellom 5 g/kg og 20 g/kg. Utslipp fra vedfyring varierer med ovnstype, vedtype og fyringsvaner. Utslippet blir minst fra tørr ved som fyres med god trekk, mens rundfyring gir størst utslipp og lavest energiutnyttning.

Utslippsfaktoren for kalium fra vedfyring er basert på et kaliuminnhold på 0,8 % i partikkelfasen i vedrøyk (Dasch, 1982). Som for vedfyring er utslippsfaktoren for PAH fra trafikk svært usikker.

## 3.2.3 Spredningsforhold

Vindhastighet (vindstyrke og -retning) ble målt på Strandfossen vintrene 1981 og 1982. Vindrosene for de to vintrene er vist i figur 2. Hovedvindretningene var langs dalføret. Vind fra nordlig og sørlig kant hadde omtrent samme hyppighet. På kalde dager var det oftest stille vær eller svak vind fra nord.

Det fins ikke data for atmosfærisk stabilitet for Elverum. Vi har derfor anslått en sannsynlig stabilitetsfordeling, med noe mer stabil luft og litt lavere vindstyrker fra nord enn fra sør.



*Figur 2: Vindretningsfordeling (%) for Strandfossen. Stolpene viser retningen vinden kommer fra. C betyr forekomst av vindstille, dvs. vindstyrke mindre enn 0,2 m/s.*

### 3.2.4 Valg av beregningsmodell

Vi har brukt en spredningsmodell basert på gaussisk spredning (Gram, 1988). Modellen beregner og adderer bidragene fra en rekke ulike punkt- og arealkilder. Modellen er godt egnet når den romlige variasjonen av vind og stabilitet er liten. Beregninger basert på gaussisk spredning gir oftest bedre samsvar med målinger for lange midlingstider (uker, måneder) enn for korte (timer, døgn).

Det er beregnet konsentrasjoner av respirable partikler, PAH og kalium fra oljefyring, vedfyring og trafikk.

### 3.2.5 Beregninger for en vinterperiode

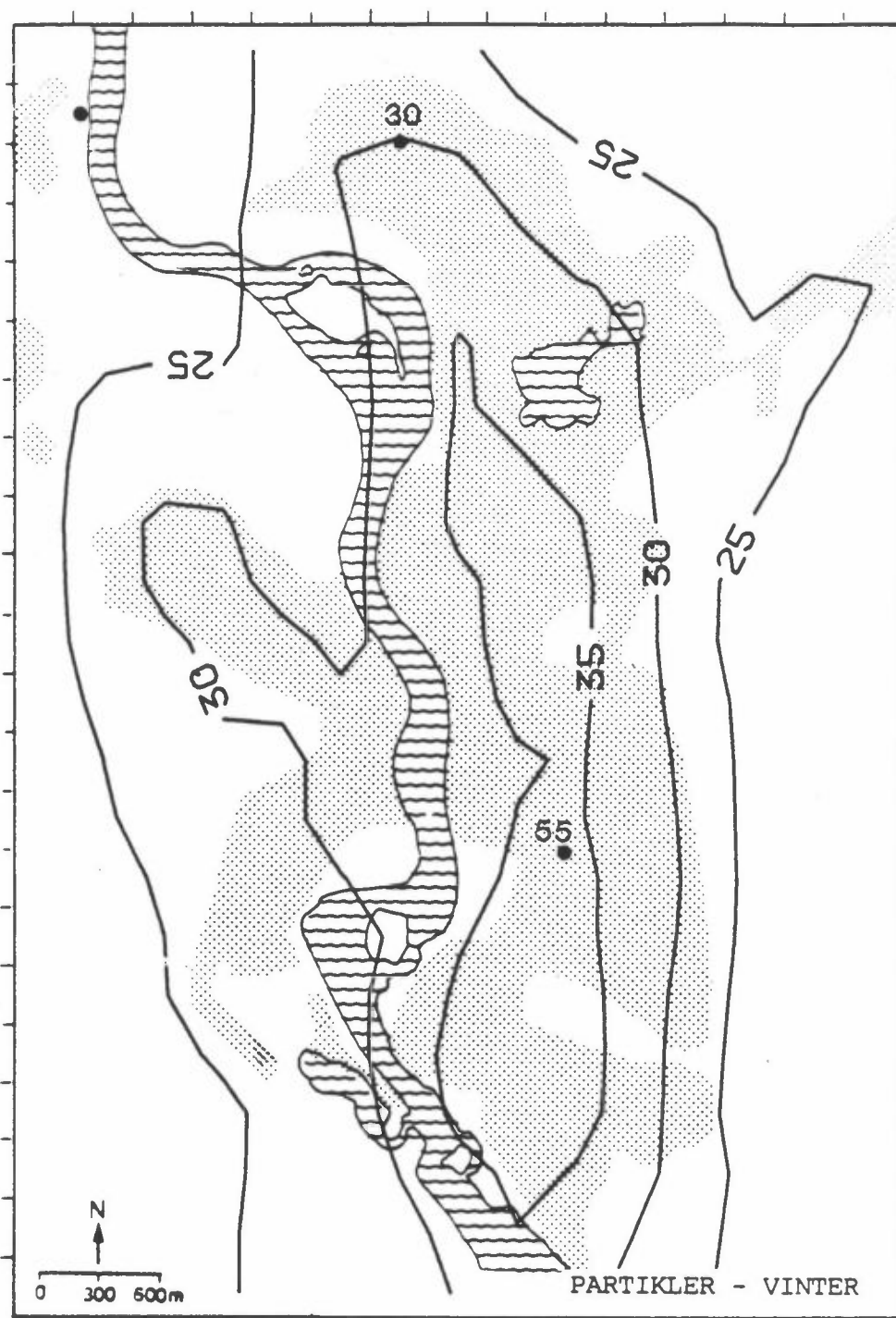
De beregnede verdiene er vist som isokonsentrasjonskurver på kart i figur 3-5. På kartene er et også vist verdier fra målestedene Elverum og Strandstykket for respirable partikler, PAH og kalium. Det framgår av figur 3-5 at beregningene gjennomgående viste noe lavere konsentrasjoner enn målingene. Forskjellen var minst for respirable partikler. For alle tre stoffene var forholdet mellom målte og beregnede verdier stort sett innenfor en faktor på 2.

Tabell 12 viser de største beregnede bidragene til konsentrasjonene fra de tre kildegruppene. De største bidragene til respirable partikler, PAH og kalium kom fra vedfyring. Det ble for øvrig ikke regnet med utslipp av kalium fra oljefyring og trafikk, jfr. tabell 11.

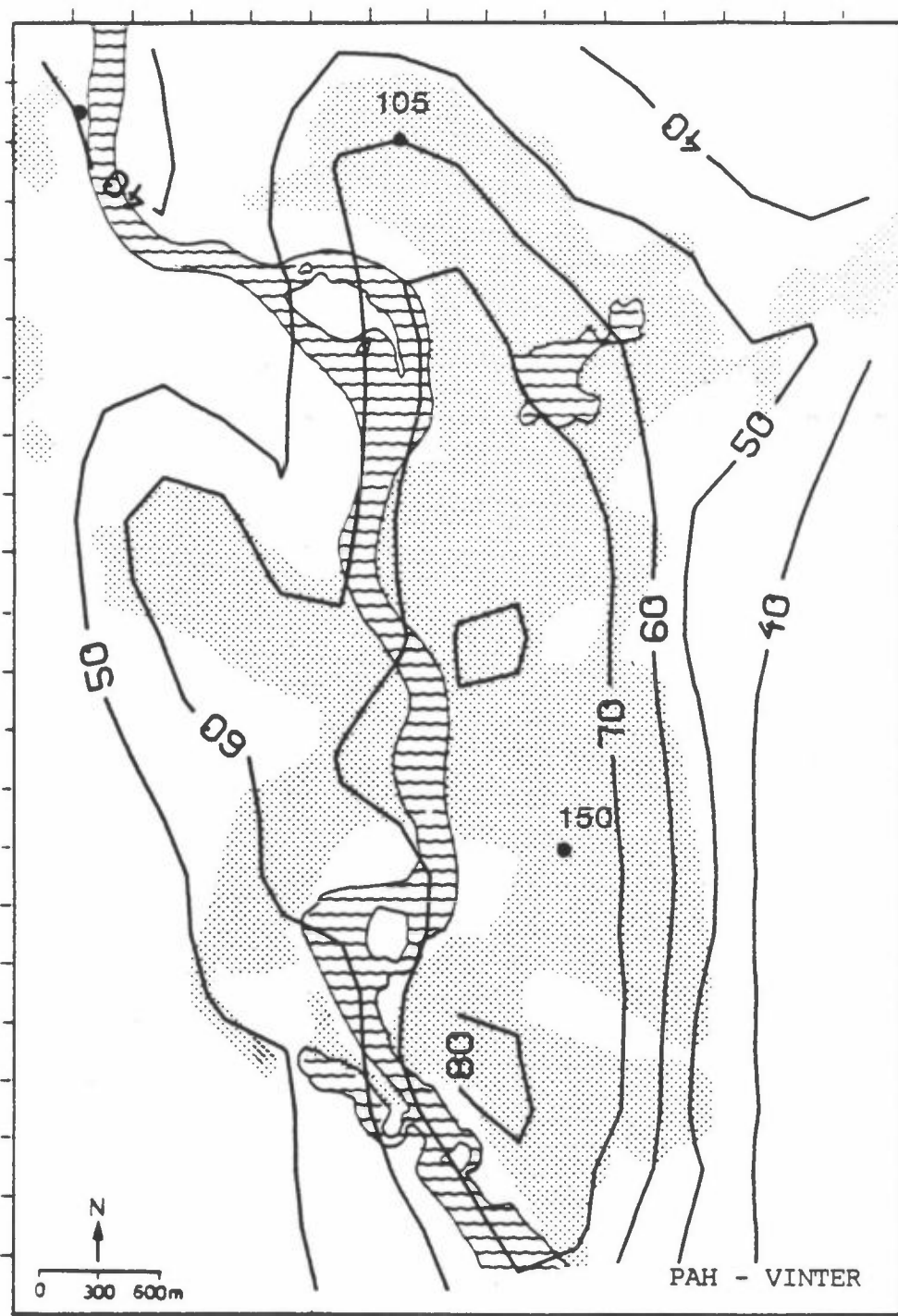
*Tabell 13: Største beregnede konsentrasjonsbidrag til respirable partikler, PAH og kalium fra oljefyring, vedfyring og trafikk, som gjennomsnitt for vinteren.*

	Respirable partikler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PAH på partikler ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	Kalium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )
Oljefyring	2	6	0
Vedfyring	16	42	130
Trafikk	2	18	0

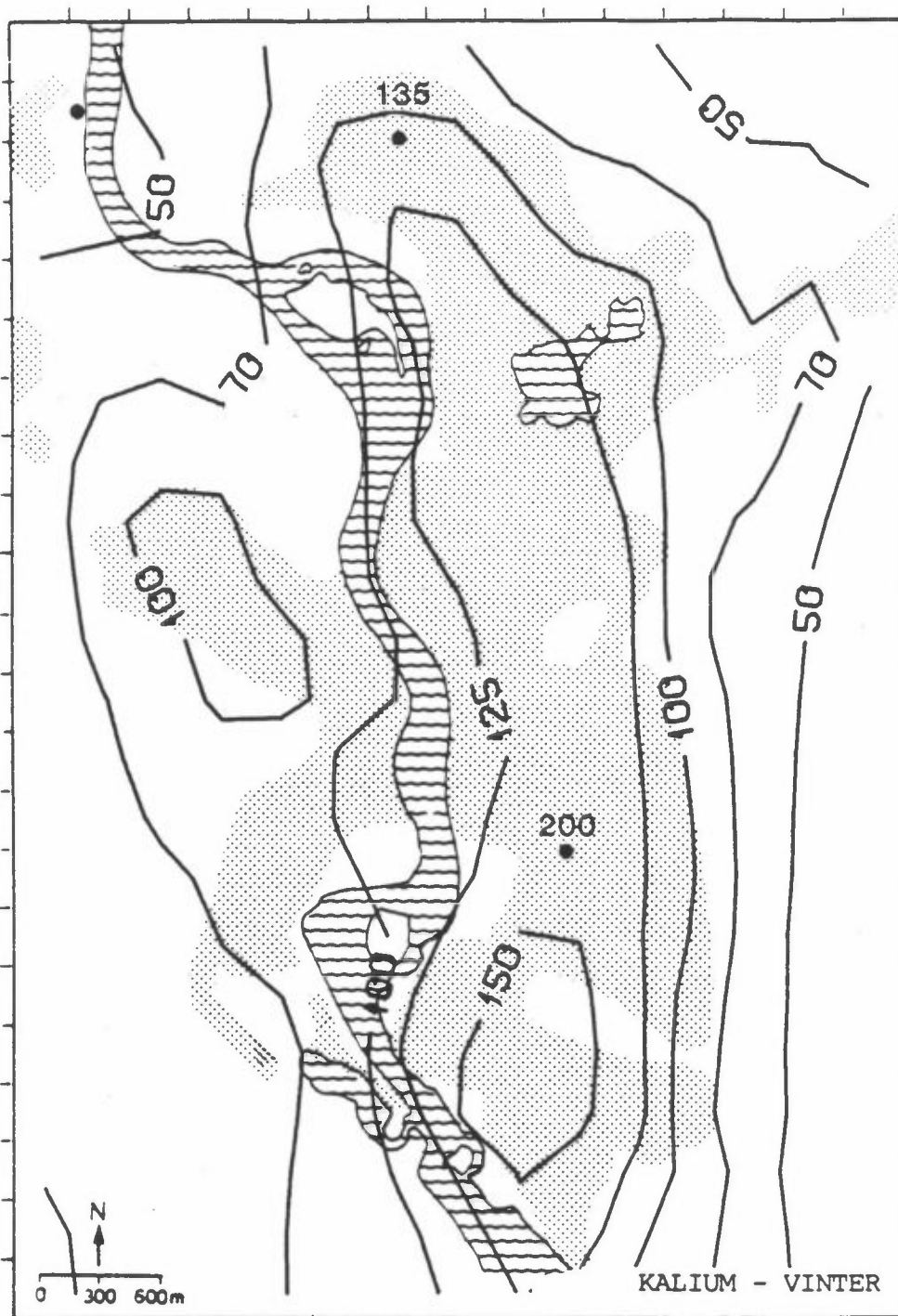




Figur 3: Beregnede og målte konsentrasjoner av respirable partikler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), som gjennomsnitt for vinteren.



Figur 4: Beregnede og målte konsentrasjoner av PAH på partikler ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ), som gjennomsnitt for vinteren.



Figur 5: Beregnede og målte konsentrasjoner av kalium ( $\text{ng/m}^3$ ), som gjennomsnitt for vinteren.

### 3.2.6 Beregninger for et kaldt døgn

De beregnede verdiene for et kaldt døgn er vist som isokonsentrasjonskurver på kart i figur 6-8. På kartene er det også vist verdier fra målestedene Elverum og Strandstykket.

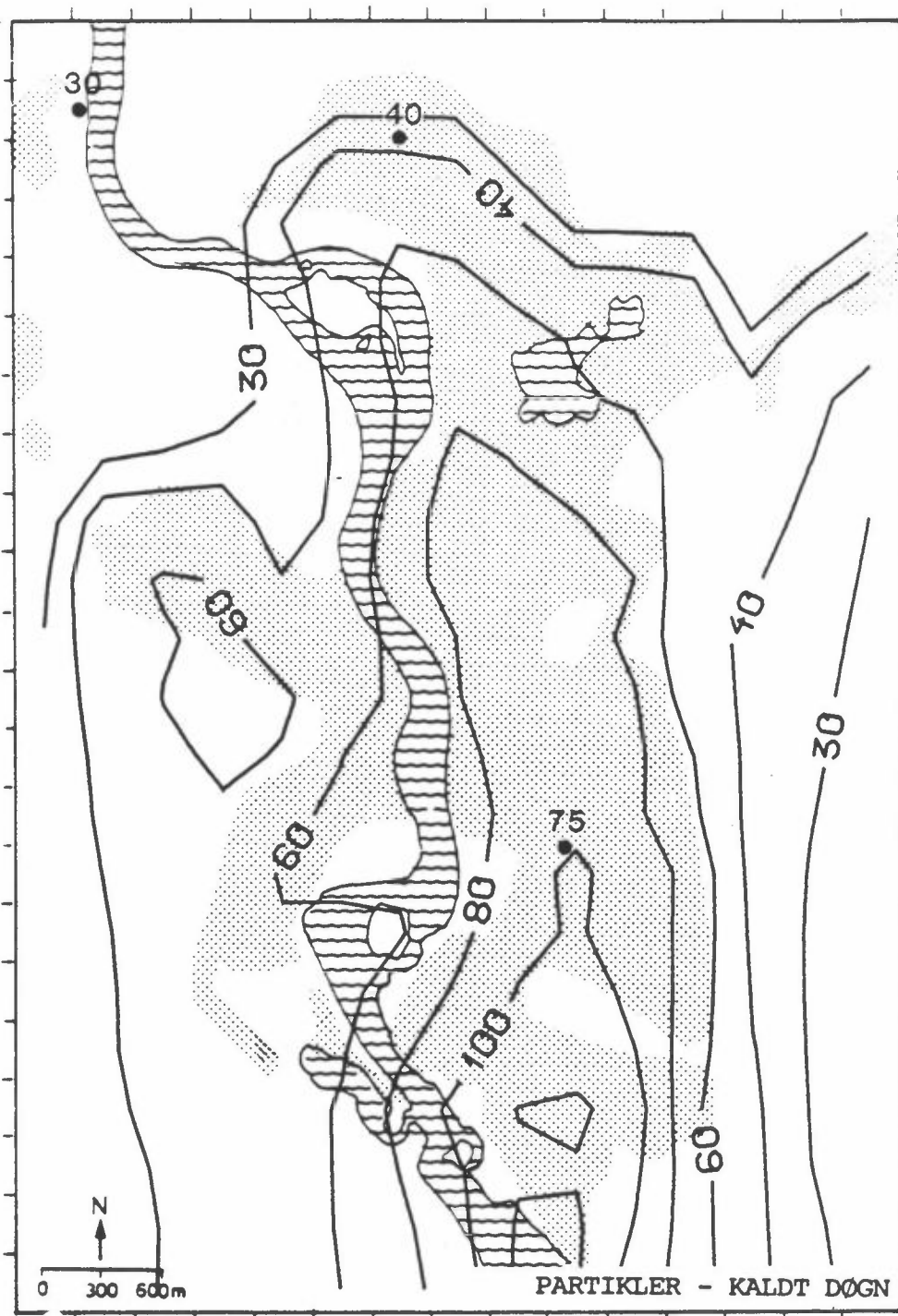
De beregnede konsentrasjonene var 2-5 ganger høyere for et kaldt døgn enn gjennomsnittlig for vinteren. Dette henger dels sammen med større utslipp (jfr. pkt. 3.2.1), og dels med at vindstyrken ble antatt mindre og vindretningen varierte mindre i et kaldt døgn. Forskjellen var størst for kalium, som ikke hadde andre kjente bidrag enn vedfyring.

Forholdet mellom beregnede og målte konsentrasjoner var inntil en faktor på ca. 2 for respirable partikler og PAH, og inntil en faktor på 2-3 for kalium. Beregnede verdier var i noen tilfeller høyere enn målte verdier.

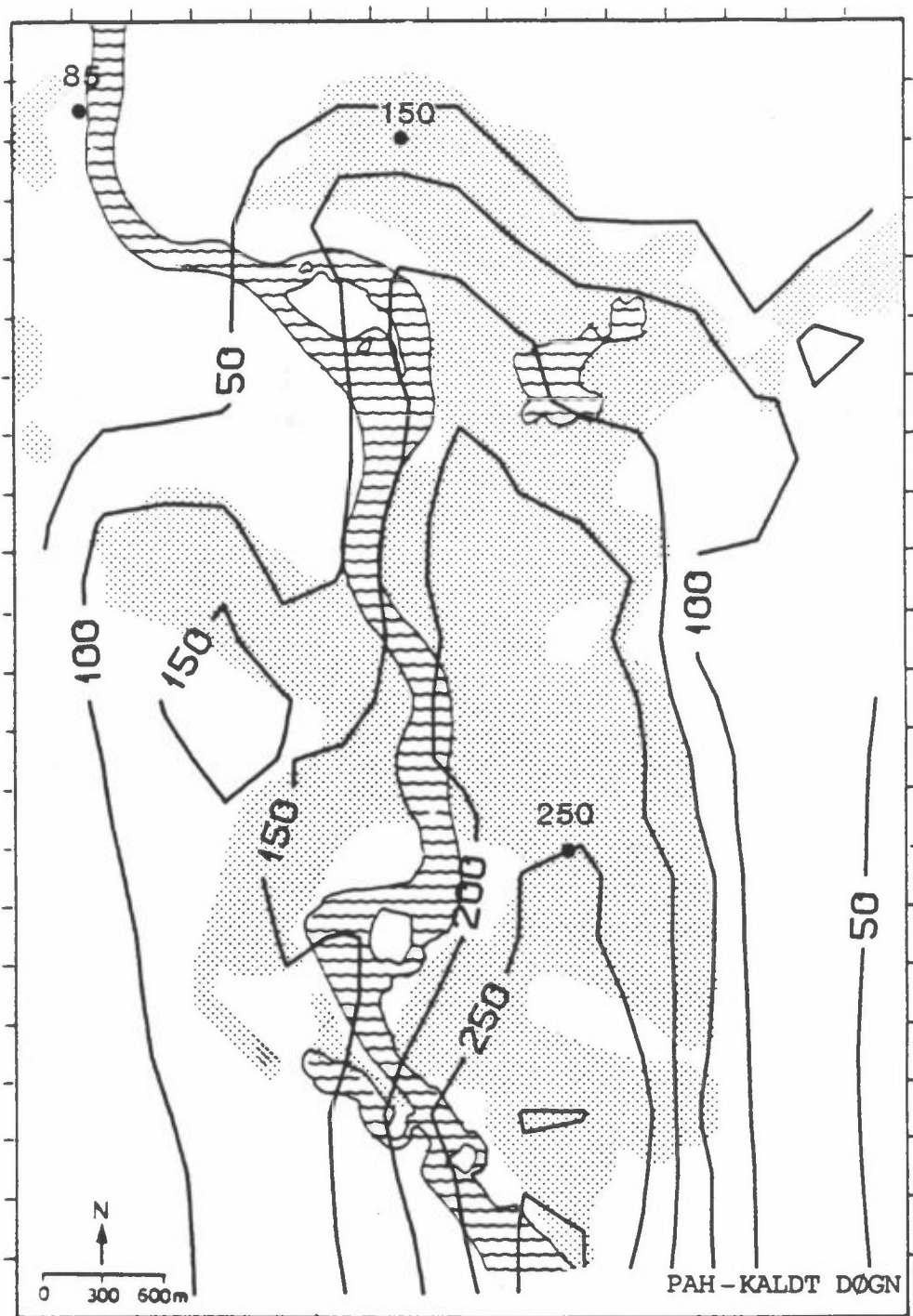
Tabell 14 viser de største beregnede bidragene til konsentrasjonene i et kaldt døgn fra de tre kildegruppene. De klart største bidragene til respirable partikler, PAH og kalium kom fra vedfyring.

Tabell 14: Største beregnede konsentrasjonsbidrag til respirable partikler, PAH og kalium fra oljefyring, vedfyring og trafikk i et kaldt døgn.

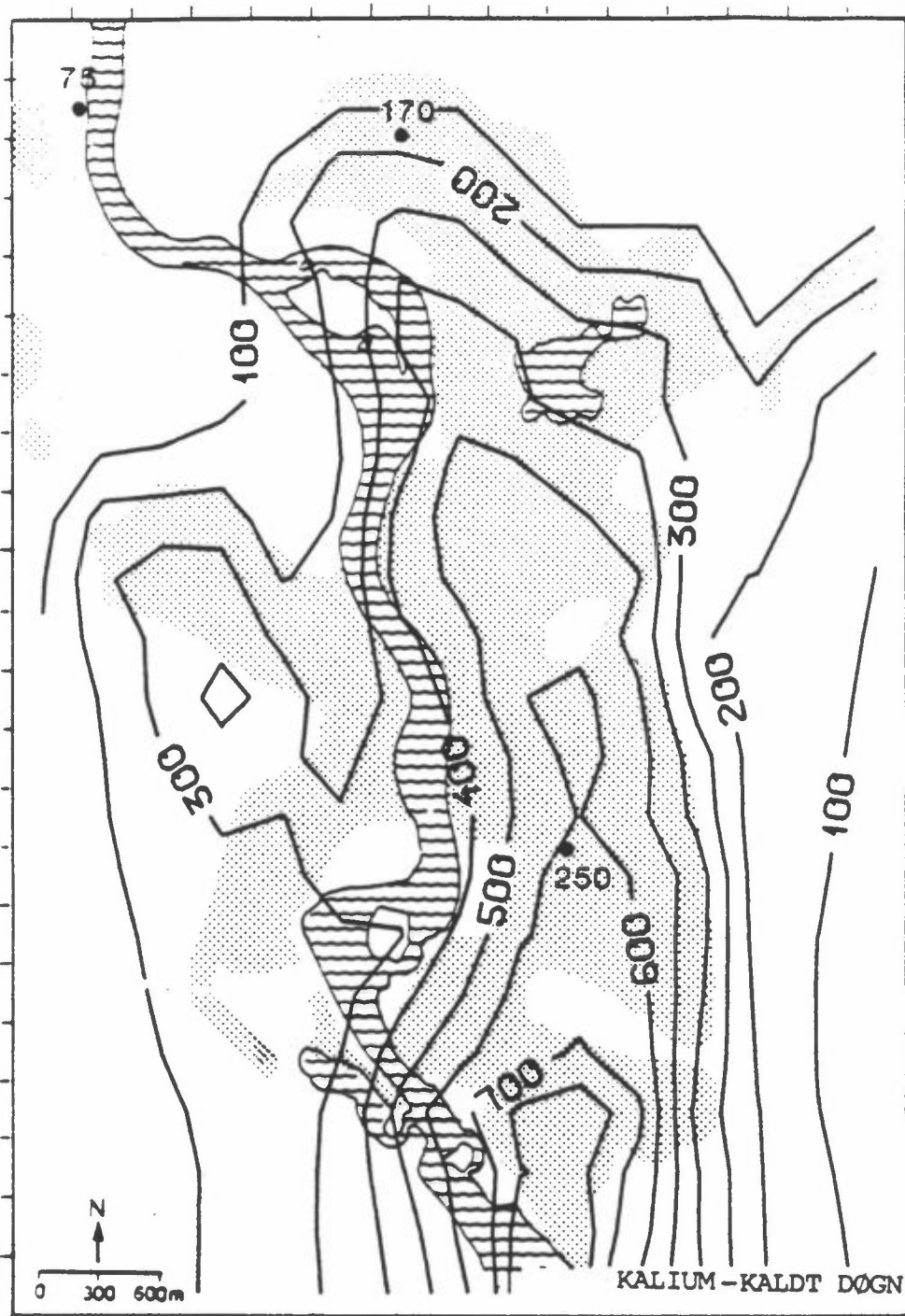
	Respirable partikler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PAH på partikler ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	Kalium ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )
Oljefyring	7	19	0
Vedfyring	93	250	760
Trafikk	5	50	0



Figur 6: Beregnede og målte konsentrasjoner av respirable partikler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), for et kaldt døgn.



Figur 7: Beregnede og målte konsentrasjoner av PAH på partikler ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) for et kaldt døgn.



Figur 8: Beregnede og målte konsentrasjoner av kalium ( $\text{ng/m}^3$ ) for et kaldt døgn.

### 3.3 Sammenlikning mellom utslipp fra fyring med olje/parafin og ved

For å sammenlikne utslipp fra fyring med olje/parafin og ved, må vi se på hvilken netto varme de ulike energibærerne gir. Vi valgte å sammenlikne utslipp av respirable partikler og PAH, og bruke termiske virkningsgrader på 0,7 for fyring med olje/parafin og 0,5 for fyring med ved, dvs. litt høyere virkningsgrad for fyring med ved enn tidligere regnet for Elverum, jfr. tabell 3. Tabell 15 viser at pr. netto energienhet blir utslipp av respirable partikler og PAH fra vedfyring en faktor på ca. 120 høyere enn fra fyring med olje/parafin.

Tabell 15: Sammenlikning mellom utslipp av respirable partikler og PAH fra fyring med olje/parafin og ved.

Utslippsfaktorer	Olje/parafin	Ved	Forholdstall mellom ved og olje/parafin
Respirable partikler (g/kg)	0,35	15	
PAH (mg/kg)	1	40	
Varmeinnhold (MJ/kg)	43	20	
Virkningsgrad	0,7	0,5	
Netto utslipp:			
Respirable partikler (g/MJ)	0,012	1,5	125
PAH (mg/MJ)	0,033	4,0	121

Ved å ta utgangspunkt i forbrukstall for olje/parafin og ved i Elverum i 1980, fant vi at utslippet fra fyring med ved var en faktor på ca. 20 større enn utslippet fra olje/parafin, og det til tross for at fyring med ved bare bidrar til en liten del av energiforsyningen, se tabell 16. Som i tabell 15 valgte vi å bruke termiske virkningsgrader på 0,7 for olje/parafin og 0,5 for ved.

Tabell 16: Sammenlikning mellom utslipp av respirable partikler og PAH fra fyring med olje/parafin og ved. Data fra Elverum 1980.

Elverum 1980	Olje/parafin	Ved	Forholdstall mellom ved og olje/parafin
Forbruk (t/a)	6700	3400*	
Netto varme (TJ/a)	202	34	
Utslipp:			
Respirable partikler (t/a)	2,3	51	22
PAH (kg/a)	6,7	136	20

\* Gjennomsnitt av 2600 og 4200, jfr. kapittel 2.

De beregnede utslippene av respirable partikler og PAH kan synes uforholdsmessig store. Dette henger sammen med de utslippsfaktorene vi brukte for fyring med ved, nemlig 15 g/kg for respirable partikler og 40 mg/kg for PAH. Forurensningsmyndighetene har fulgt utviklingen nøye og nylig satt utslippskrav for nye ovner. Krav til partikkelutslipp er nå 10 g/kg for ovner uten katalysator og 5 g/kg for ovner med katalysator (NSF, 1994).



Det er imidlertid helt klart at vedfyring i småhus gir store utslipp av flere viktige forurensninger sammenliknet med andre energibærere. Derfor kan forurensningsbidraget fra vedfyring bli betydelig, selv om bidraget til den samlede energiforsyningen er lite.

Det arbeides mye med å finne fram til ovnstyper som gir mindre luftforurensning. Bl.a. er det lansert ovner med katalytisk forbrenning av røykgassene (Karlsvik, 1985).

### 3.4 Sluttkommentar

Det er vanskelig å si noe kvantitativt om helsevirkninger av respirable partikler og PAH. Det er også vanskelig å forutsi folks holdning til vedrøyk. Vedrøyk kan lukte "godt". Men vedrøyk kan også lukte "vondt", særlig ved fyring med dårlig trekk og mindreverdige brensel. Det er mange enkeltteksempler på at astmatikere og allergikere er svært plaget av vedrøyk. Det er også bare få tiår siden tobakksrøyk luktet "godt".

Ved den framtidige bruken av biomasse til energiforsyning bør disse hensynene stå sentralt:

- Høy energiutnytting og derved god fyringsøkonomi
- Lite forurensning

Dette tilsier at fyringen helst bør skje i anlegg som har renseutstyr og blir drevet av kvalifisert personell.

## 4. Referanseliste

Dasch, J.M. (1982) Particulate and gaseous emission from wood-burning fireplaces. *Environ.Sci.Techn.*, 16, 639-645.

Gram, F. (1988) User's guide for the "Kilder" dispersion modelling system. Lillestrøm (NILU TR 7/88).

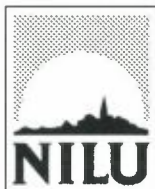
Hagen, L.O. og Schjoldager, J. (1986) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Drammen 1984-1986: Framdriftsrapport nr. 2 pr. 1. august 1986. Lillestrøm (NILU OR 70/86).

Haugsbakk, I. og Schjoldager, J. (1987) Beregninger av luftforurensninger i Elverum. Lillestrøm (NILU OR 58/87).

Karlsvik, E. (1985) Redusert vedforbruk - mindre forurensning. I: *Bioenergi i Norge*, s. 63, G. Wilhelmsen (red). Oslo, Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd.

Larssen, S. (1982) Overvåking av bilforurensninger i Oslo 1979-1980. Lillestrøm, Norsk institutt for luftforskning.

- NMR (1995) Nordiske Miljøindikatorer - Høringsutkast. Oslo (Utarbeidet for Nordisk miljøovervåkings- og datagruppe).
- Olufsen, B. og Alfheim, J. (1980) Analyse av polysykliske aromatiske hydrokarboner i Oslo-luft. Oslo, Sentralinstitutt for industriell forskning.
- Pedersen, J., Veiberg, R., Wæhle, E. og Berge, B. (1982) Vedforbruket i Elverum tettsted fyringssesongen 1981/82. Universitetet i Oslo, Rådet for natur- og miljøfag.
- Ramdahl, T., Schjoldager, J., Hanssen, J.E. og Møller, M. (1982) Luftforurensning fra vedfyring: Målinger i Elverum vintrene 1981 og 1982. Lillestrøm (NILU OR 54/82).
- Schjoldager, J., Currie, L.A., Hanssen, J.E., Hongslo, J.K. og Mikalsen, A. (1986) Luftforurensning fra vedfyring: Målinger i Elverum vinteren 1983. Lillestrøm (NILU OR 68/86).
- SFT (1992) Virkninger av luftforurensning på helse og miljø: Anbefalte luftkvalitetskriterier. Oslo, Statens forurensningstilsyn (SFT-rapport nr. 92:16).
- Siv.ing. Rolf Aalerud A/S og Elverum elektrisitetsverk (1982) Elverum kommune, varmeplan - Grovstudie, Elverum.
- SSB (1993) Statistisk årbok 1993. Oslo-Kongsvinger, Statistisk sentralbyrå.



**Norsk institutt for luftforskning (NILU)**  
Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE TEKNISK RAPPORT	RAPPORT NR. TR 6/95	ISBN-82-425-0677-9	
DATO 13/6 1995	ANSV. SIGN. <i>Alvord</i>	ANT. SIDER 26	PRIS NOK 45,-
TITTEL Luftforurensning fra vedfyring: Sammenfatning av undersøkelser 1981-87		PROSJEKTLEDER J. Schjoldager	
FORFATTER(E) Jørgen Schjoldager		NILU PROSJEKT NR. E-95028	
		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAUGSGIVERS REF.	
OPPDRAUGSGIVER Norsk institutt for luftforskning Postboks 100 2007 KJELLER			
STIKKORD Luftforurensning	Vedfyring	Tettsteder	
REFERAT  Målinger i Elverum 1981-83 viste høye konsentrasjoner av respirable partikler, PAH, sot og karbon fra biomasse. Vedfyring bidrar mye til luftforurensningene, til tross for at bidraget til energiforsyningen er lite. Modellberegninger i Elverum 1986-87 viste brukbart samsvar mellom beregninger og målinger, selv om datagrunnlaget var spinkelt. Luftforurensning fra vedfyring fører til store utslipp pr. netto energienhet av respirable partikler og PAH.			
TITLE Air pollution from wood combustion: Measurements and model calculations 1981-87.			
ABSTRACT  We measured high concentrations of respirable particles, soot, PAH and carbon from wood combustion, in spite of a small net wood energy contribution. Model calculations gave good correspondence between calculations and measurements. Wood combustion gives large emission factors per net energy unit of respirable particles and PAH compared to other energy sources.			

\* Kategorier:    A    Åpen - kan bestilles fra NILU  
                          B    Begrenset distribusjon  
                          C    Kan ikke utleveres