

NILU OR: 28/91

NILU OR : 28/91
REFERANSE : O-8993
DATO : April 1991
ISBN : 82-425-0249-8

Utslipp av metan og hydrokarboner fra vedfyring

O.-A. Braathen, N. Schmidbauer
og O. Hermansen

INNHOOLD

	Side
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	5
2 METODIKK	5
2.1 Forsøksoppstilling	5
2.2 Forbrenningssyklus	7
2.3 Prøvetaking	8
2.4 Analyse	8
2.5 Beregningsmetoder	10
3 RESULTATER	12
3.1 Ildsted A	12
3.2 Ildsted B	15
3.3 Ildsted C	16
3.4 Ildsted D	18
3.4.1 Høy forbrenningshastighet	19
3.4.2 Lav forbrenningshastighet	21
3.5 Ildsted E	22
4 DISKUSJON	24
5 UTSLIPP I NORGE	27
Vedlegg 1: Ildsted A	33
Vedlegg 2: Ildsted B	39
Vedlegg 3: Ildsted C	45
Vedlegg 4: Ildsted D, høy forbrenningshastighet	51
Vedlegg 5: Ildsted D, lav forbrenningshastighet	57
Vedlegg 6: Ildsted E	63

SAMMENDRAG

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) utført målinger av utslippskoeffisienter for metan og lette hydrokarboner ved vedfyring.

Målingene omfattet metan, etan, propan, n-butan (butan), isobutan (2-metylpropan), eten, propen, trans-buten (trans-2-buten), 1-buten, iso-buten (2-metylpropen), cis-buten (cis-2-buten) og etyn.

Målingene ble utført i SINTEF - Norges branntekniske laboratorium (NBL) i Trondheim i forbindelse med typegodkjenningsmålinger.

Det ble foretatt målinger i fem ildsteder. I et ildsted, en tradisjonell ovn, ble det tatt målinger ved to forskjellige forbrenningshastigheter. I de andre ble det bare tatt målinger ved en forbrenningshastighet.

Det laveste samlede utslippet av metan og lette hydrokarboner, 3,66 g/kg ved, ble målt i et moderne ildsted med katalysator. Det høyeste utslippet, 18,84 g/kg ved, ble målt ved lav forbrenningshastighet i den tradisjonelle ovnen.

Utslippskoeffisientene for metan lå mellom 2,76 og 12,60 g/kg ved. For de andre mettede hydrokarbonene som ble målt, lå de samlede utslippskoeffisientene mellom 0,16 og 2,76 g/kg ved, og for de umettede hydrokarbonene som ble målt, lå de samlede utslippskoeffisientene mellom 0,63 og 4,11 g/kg ved.

Basert på resultatene av utslippsmålingene og opplysninger i en rapport fra Rådet for Natur- og Miljøfag, ble det totalte norske utslippet av metan fra vedfyring beregnet å være omtrent 10 000 tonn pr år.

UTSLIPP AV METAN OG HYDROKARBONER FRA VEDFYRING

1 INNLEDNING

Norsk institutt for luftforskning ((NILU) fikk i oppdrag av Statens forurensningstilsyn (SFT) å måle utslippet av metan og andre lette, flyktige hydrokarboner ved vedfyring.

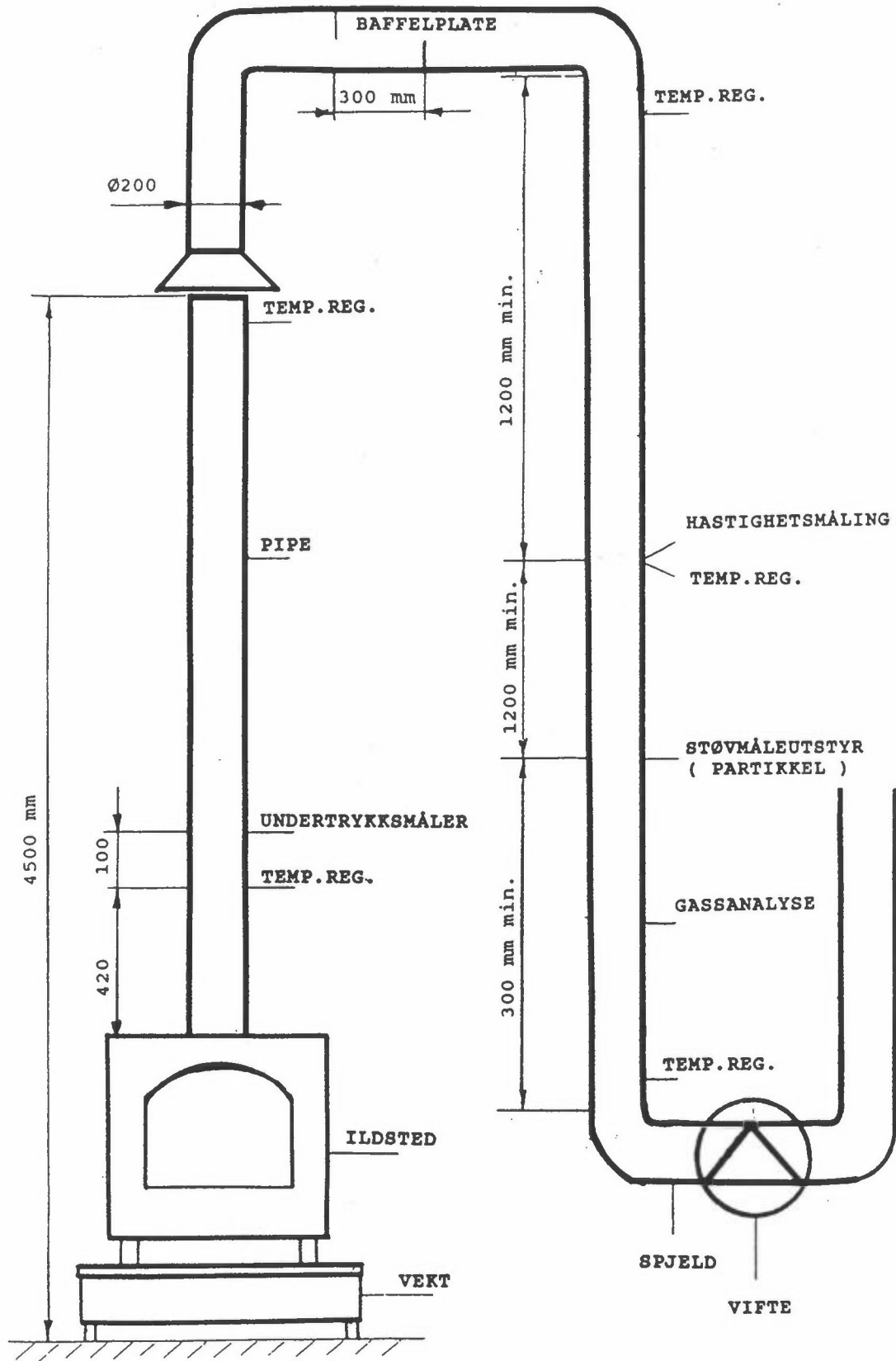
Resultatene av målingene skulle bidra til å gjøre det mulig å beregne det totale norske utslippet av metan og andre lette, flyktige hydrokarboner som følge av vedfyring. Dette totale norske utslippet er av interesse i forbindelse med vurderingen av en eventuell oppvarming av jorda (drivhuseffekten) og i forbindelse med vurderingen av betydningen av atmosfærekjemiske reaksjoner.

Omtrent samtidig fikk SINTEF - Norges branntekniske laboratorium (NBL) i Trondheim i oppdrag av SFT å gjennomføre målinger for typegodkjenning av fem forskjellige ildsteder. Det ble derfor bestemt at NILU skulle foreta prøvetaking i NBLs laboratorium i Trondheim mens typegodkjenningsmålingene ble utført, og at det skulle tas prøver av alle fem ildstedene.

2 METODIKK

2.1 FORSØKSOPPSTILLING

Figur 1 viser den forsøksoppstillingen som ble benyttet. NILUs prøver ble tatt i punktet som er merket "STØVMÅLEUTSTYR (PARTIKKEL)". Dette punktet ble valgt fordi temperaturen i denne delen av kanalen lå i området 30-40°C mens forsøkene pågikk. Den forholdsvis lave temperaturen ble oppnådd ved å blande inn luft med værelsestemperatur i luftstrømmen på toppen av pipa.



Figur 1: Forsøksoppstilling ved forbrenningsforsøkene.

Temperaturen i pipa (bunn og topp) var i mange tilfeller godt over 100°C og dette ville medført problemer for prøvetakingen.

Diameteren i kanalen ved målepunktet var 200 mm.

Totalt volum luft som passerte målepunktet i et tidsrom kunne beregnes fordi lufthastigheten i kanalen ble registrert kontinuerlig.

Som figuren viser var ildstedet plassert på en vekt. Dette gjorde det mulig å kontinuerlig bestemme vekt av uforbrent ved.

2.2 FORBRENNINGSSYKLUS

Forsøkene ble utført ved først å forvarme ildstedet med forbrenning av bjerkeved. Deretter ble en spesifisert mengde granved lagt inn i ildstedet, og prøvetakingen begynte. Mengden granved ble bestemt ut fra volumet i forbrenningskammeret i ildstedet, og veden hadde relativ fuktighet mellom 16 og 20%.

Før forbrenningsforsøkene, som rapporteres i denne rapporten, ble gjennomført, hadde NBL foretatt typegodkjenningsmålingene i hvert ildsted. Basert på erfaringene med ildstedene kunne dermed lufttilførsel og liknende justeres slik at ønsket forbrenningshastighet i hvert forsøk ble oppnådd.

I utgangspunktet var det meningen å gjennomføre forsøkene med forbrenningshastighet som ved "vanlig" bruk av ildstedene til boligoppvarming. Antall forsøk som kunne gjennomføres var imidlertid begrenset, og derfor var det nødvendig å velge middels forbrenningshastighet i noen ildsteder og høy forbrenningshastighet i andre ildsteder. I tillegg ble det foretatt et ekstra forsøk med lav forbrenningshastighet i ildsted D for å undersøke utslippet ved "nattfyring".

2.3 PRØVETAKING

Prøvetaking ble utført ved å pumpe luft fra kanalen og over i prøvetakingsposer som var spesielt beregnet på luftprøver. Prøveposene hadde volum på fem liter.

Ved hvert forbrenningsforsøk ble det tatt mellom fire og seks poseprøver. Prøvetakingstida pr pose lå mellom 7 minutter og 60 minutter. Analyseresultatene for hver prøve var derfor uttrykk for gjennomsnittskonsentrasjonen i kanalen i prøvetakingstida.

Siden ildstedene ble forvarmet, var det ikke mulig å ta prøver under opptenningsfasen. De utførte målingene ga derfor ingen resultater for denne delen av forbrenningssyklusen.

Prøvene fra forsøket i ildsted A ble tatt 22.10.1990 og prøvene fra de andre forsøkene ble tatt i tidsrommet 22.-25.1.1990.

Etter prøvetaking ble prøvene transportert til NILU for analyse.

2.4 ANALYSE

Analysene ble utført med en gasskromatograf med flammeionisasjonsdetektor. Det ble benyttet en "fused" silika kapillar kolonne belagt med $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{KCl}$.

Ved å bestemme responsfaktorene for kjente konsentrasjoner av standarder, kunne konsentrasjonene av de aktuelle forbindelsene i prøvene bestemmes. Konsentrasjonene ble rapportert med enhet mg/m^3 .

Usikkerheten i analysene er trolig mindre enn 3-5%. Dette betyr at usikkerheter i gjennomføring av forbrenning, måling av vedvekt, prøvetaking og liknende sannsynligvis vil være klart større enn usikkerheten i analysene.

Metoden kan benyttes til å bestemme konsentrasjoner av alifatiske lette hydrokarboner med mellom ett og fire C-atomer. Dette inkluderer totalt 17 forbindelser. Propyn, 1-butyn, 2-butyn, 1,3-butadien og but-1-en-2-yn har imidlertid forholdsvis spesielle egenskaper og er vanskelige å måle med denne metoden. Disse forbindelsene ble ikke inkludert i analysene, og det ble derfor utført målinger av totalt 12 forskjellige forbindelser. Disse forbindelsene er vist i tabell 1.

Tabell 1: Lette hydrokarboner som ble inkludert i analysene av utslippsprøver fra vedfyring.
(IUPAC-navn i parentes).

<p><u>METTEDE FORBINDELSER</u></p> <p><u>ALKANER</u></p> <p>Metan</p> <p>Etan</p> <p>Propan</p> <p>N-butan (butan)</p> <p>Iso-butan (2-metylpropan)</p>	<p><u>UMETTEDE FORBINDELSER</u></p> <p><u>ALKENER</u></p> <p>Eten</p> <p>Propen</p> <p>1-Buten</p> <p>Cis-buten (cis-2-buten)</p> <p>Trans-buten (trans-2-buten)</p> <p>Iso-buten (2-metylpropen)</p> <p><u>ALKYNER</u></p> <p>Etyn</p>
---	---

De fleste av disse forbindelsene er til stede i detekterbare konsentrasjoner i uteluft i Norge.

I denne rapporten kalles de 12 forbindelsene som ble målt "lette hydrokarboner". Dette betyr at metan også er inkludert i "lette hydrokarboner". Siden de 12 forbindelsene er av flere typer er det i tillegg nødvendig å gruppere dem. Dette gjøres med en inndeling i tre grupper:

- metan
- mettede hydrokarboner
- umettede hydrokarboner

"Mettede hydrokarboner" inkluderer alkanene, og "umettede hydrokarboner" inkluderer alkenene (= forbindelser med dobbelbinding) og den ene alkynen (= forbindelse med trippelbinding).

2.5 BEREGNINGSMETODER

Det luftvolumet (L) som plasserte prøvetakingspunktet i kanalen mens en prøve ble tatt, er gitt ved:

$$L = \pi r^2 \cdot v \cdot t$$
 , der

$r = 100 \text{ mm} = 0,100 \text{ m}$

$v =$ lufthastighet i kanalen mens prøven ble tatt (m/s)

$t =$ prøvetakingstid (s)

L har enhet m^3

Lufthastigheten i kanalen i de seks forbrenningsforsøkene er gitt i tabell 2.

Tabell 2: Lufthastighet i kanalen i de seks forbrenningsforsøkene.
Enheter: m/s.

Ildsted	Tidsrom	Hastighet
A	Hele forsøket	3,500
B	0-110 min	3,500
	110 min - forsøksslutt	3,375
C	Hele forsøket	3,450
D (lav forbrenningshast.)	Hele forsøket	3,375
D (høy forbrenningshast.)	0-20 min	3,470
	20 min - 50 min	3,780
	50 min - forsøksslutt	3,660
E	Hele forsøket	3,350

De fleste av de lette hydrokarbonene er til stede i uteluft i detekterbare konsentrasjoner. Det er imidlertid bare metan som har uteluftkonsentrasjon som er av betydning for utslippsmålingene. Typisk konsentrasjon av metan i uteluft i Norge er 1,8 ppm eller 1,19 mg/m³. De målte konsentrasjonene av metan i utslippsprøvene ble derfor redusert med 1,19 mg/m³ før metanutslippet fra vedforbrenningen ble beregnet. Konsentrasjonene av de andre 11 forbindelsene ble ikke korrigert.

Den totale mengde (A) av en forbindelse, som ble sluppet ut mens en prøve ble tatt, er gitt ved

$$A = L \cdot C_A \quad , \text{ der}$$

L = luftvolumet som passerte prøvetakingspunktet i kanalen mens prøven ble tatt (m³)

C_A = konsentrasjonen av forbindelsen i prøven (mg/m³)

A har enhet mg

Utslippskoeffisientene (U) ble deretter beregnet med følgende formel:

$$U = \frac{A}{\Delta m} \cdot 1000 \quad , \text{ der}$$

$$\Delta m = m_{\text{start}} - m_{\text{slutt}}$$

m_{start} = vekt av uforbrent ved ved prøvetakingsstart for prøven (kg)

m_{slutt} = vekt av uforbrent ved ved prøvetakingslutt for prøven (kg)

Δm vil altså uttrykke vekten av ved som ble forbrent mens prøven ble tatt.

Utslippskoeffisientene, U , har enhet g/kg ved.

I NBLs typegodkjenningsmålinger ble vekt av tørr ved benyttet til beregninger og liknende. I resultatene av utslippsmålingene som presenteres i denne rapporten, er imidlertid vekten av veden ikke korrigert for vanninnholdet. De vedvektene som inngår i beregningene ble registrert direkte ved å lese av vekt av gjenværende, uforbrent ved når prøvetaking ble startet og stoppet. Resultatene fra NBLs målinger som er referert i denne rapporten er derfor også oppgitt på basis av ukorrigert vedvekt. Dette ble gjort for å få resultatene sammenliknbare. Omregningene ble utført av NILU basert på det målte vanninnholdet i veden i hvert forsøk.

3 RESULTATER

3.1 ILDSTED A

Ildsted A er en frittstående peis av støpejern med doble vegger og stort glassareal i døra. Ildstedet er beregnet for oppvarming av middels store boliger og gir hyggeeffekt fordi forbrenningen kan iakttas gjennom glasset i døra. En katalysator bidrar til at forbrenningen blir så fullstendig som mulig, men den kan først koples inn når temperaturen blir tilstrekkelig høy.

Forbrenningsforsøket i dette ildstedet tok omtrent 112 minutter, og forbrenningshastigheten i forsøket var 1,67 kg ved pr time. Det ble tatt fire prøver. De målte konsentrasjonene og de beregnete utslippskoeffisientene for hver prøve er vist i vedlegg 1.

Gjennomsnittsverdiene over hele forsøket av de beregnete utslippskoeffisientene er vist i tabell 3.

Tabell 3: Gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for lette hydrokarboner ved vedfyring i ildsted A. Enhet: g/kg ved.

FORBINDELSE		UTSLIPP
Metan	CH ₄	2,87
Etan	C ₂ H ₆	0,14
Propan	C ₃ H ₈	0,02
N-butan	C ₄ H ₁₀	- ^c
Iso-butan	C ₄ H ₁₀	-
Eten	C ₂ H ₄	0,52
Propen	C ₃ H ₆	0,05
Trans-buten	C ₄ H ₈	-
1-Buten	C ₄ H ₈	-
Iso-buten	C ₄ H ₈	-
Cis-buten	C ₄ H ₈	-
Etyn	C ₂ H ₂	0,007
Sum		3,66
Metan		2,87 (78,3%) ^d
Sum mettede ^a (uten metan)		0,16 (4,3%)
Sum umettede ^b		0,63 (17,3%)

- a) Inkluderer etan, propan, n-butan og iso-butan
b) Inkluderer eten, propen, trans-buten, 1-buten, iso-buten, cis-buten og etyn
c) Ikke detektert
d) Vektprosent

Tabell 3 viser at 78,3% av utslippet besto av metan, at de andre mettede forbindelsene (etan og propan) utgjorde 4,3% og at de umettede forbindelsene utgjorde 17,3%. Tabellen viser også at bare 6 av de 12 aktuelle forbindelsene ble detektert i utslippet. Metan, etan, eten og etyn (C1- og C2-forbindelsene) utgjorde tilsammen 98,4% av utslippet.

De beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve, som er vist i vedlegg 1, viser at utslippet var svært lavt i de første 65 minuttene av brannforsøket (P1 og P2). I dette tidsrommet utgjorde det samlede utslippet 0,79 g/kg ved. I siste del av forsøket (P3 og P4) var det samlede utslippet omtrent

20 ganger høyere enn i begynnelsen og utgjorde 14,50 g/kg ved. I vedlegg 1 er også vist temperaturen i røykgassen før og etter katalysatoren. Figuren viser at etter omtrent 70 minutter var det ingen signifikant forskjell mellom disse temperaturene. Trolig viser dette at katalysatoren etter dette tidspunktet hadde liten eller ingen effekt og at dette var årsaken til det forholdsvis høye utslippet i slutten av forsøket.

Sannsynligvis ville imidlertid oppvarming av en bolig med ildsted A bli utført ved å legge inn ny ved etter hvert som veden forbrennes. På denne måten ville det trolig oppnås å holde høy temperatur i katalysatoren i lengre tid. Fasen med lav temperatur i katalysatoren og forholdsvis høyt utslipp ville dermed være av mindre betydning. Dette ville trolig føre til at de gjennomsnittlige utslippskoeffisientene ville bli lavere enn de som er beregnet i denne rapporten.

Katalysatoren i ildsted A fungerer altså bare når temperaturen er høy nok. I start- og slutfasen av forbrenningscyklusen har katalysatoren dermed liten eller ingen effekt. For å øke effekten av katalysatoren er det derfor nødvendig å øke temperaturen i katalysatoren i disse to fasene. En måte å gjøre dette på kunne muligens være elektrisk oppvarming av katalysatoren.

Tabell 4 viser resultatene av NBLs målinger av gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO i forsøket i ildsted A.

Tabell 4: Gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra ildsted A.
Enhet: g/kg ved.

CO ₂	CO
1654,3	27,2

3.2 ILDSTED B

Ildsted B er en frittstående peis av støpejern med doble vegger og stort glassareal i døra. Ildstedet er beregnet for oppvarming av middels store boliger og gir hyggeeffekt fordi forbrenningen kan iakttas gjennom glasset i døra.

Forbrenningsforsøket i dette ildstedet tok omtrent 145 minutter og forbrenningshastigheten i forsøket var 1,35 kg ved pr time. Det ble tatt seks prøver, men et uhell gjorde at den femte prøven (P5) ikke kunne analyseres. For å kunne gjennomføre beregningene på samme måte som for de andre ildstedene, ble det antatt at konsentrasjonene i den femte prøven var gjennomsnittet av de tilsvarende konsentrasjonene i den fjerde (P4) og sjette prøven (P6) (se vedlegg 2). Den mengden ved som ble forbrent mens den femte prøven (P5) ble tatt, utgjorde 4,3% av total forbrent vedmengde. De anslåtte konsentrasjonene i P5 påvirker derfor bare i liten grad de beregnede gjennomsnittlige utslippskoeffisientene over hele forsøket.

Konsentrasjonene og de beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve er vist i vedlegg 2. Gjennomsnittsverdiene over hele forsøket av de beregnede utslippskoeffisientene er vist i tabell 5.

Tabell 5 viser at utslippet fra ildsted B besto av 63,1% metan, 7,0% andre mettede forbindelser og 29,9% umettede forbindelser. Metan, etan, eten og etyn (C1- og C2-forbindelsene) utgjorde tilsammen 93,4% av utslippet. Alle 12 forbindelsene ble detektert.

De beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve, som er vist i vedlegg 2, viser at det største utslippet forekom i tidsrommet mellom ca 70 minutter og 130 minutter (P4 og P5). I det samme tidsrommet sank temperaturen i røykgassen i bunnen av pipa fra omtrent 380°C til omtrent 220°C (se vedlegg 2).

Tabell 5: Gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for lette hydrokarboner ved vedfyring i ildsted B. Enhet: g/kg ved.

FORBINDELSE		UTSLIPP
Metan	CH ₄	5,38
Etan	C ₂ H ₆	0,49
Propan	C ₃ H ₈	0,09
N-butan	C ₄ H ₁₀	0,01
Iso-butan	C ₄ H ₁₀	0,00
Eten	C ₂ H ₄	1,76
Propen	C ₃ H ₆	0,34
Trans-buten	C ₄ H ₈	0,01
1-Buten	C ₄ H ₈	0,05
Iso-buten	C ₄ H ₈	0,03
Cis-buten	C ₄ H ₈	0,01
Etyn	C ₂ H ₂	0,37
Sum		8,53
Metan		5,38 (63,1%) ^c
Sum mettede ^a (uten metan)		0,60 (7,0%)
Sum umettede ^b		2,55 (29,9%)

a) Inkluderer etan, propan, n-butan og iso-butan

b) Inkluderer eten, propen, trans-buten, 1-buten, iso-buten, cis-buten og etyn

c) Vektprosent

Tabell 6 viser resultatene av NBLs målinger av gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO i forsøket i ildsted B.

Tabell 6: Gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra ildsted B. Enhet: g/kg ved.

CO ₂	CO
1748,7	113,3

3.3 ILDSTED C

Ildsted C er en frittstående ovn av platejern med store glass-areal i dørene. Ildstedet er beregnet for oppvarming av middels

store boliger og gir hyggeeffekt fordi forbrenningen kan iakttas gjennom glasset i dørene.

Forbrenningsforsøket i dette ildstedet tok omtrent 79 minutter, og forbrenningshastigheten var 1,88 kg ved pr time. Det ble tatt fem prøver.

De målte konsentrasjonene og de beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve er vist i vedlegg 3.

Gjennomsnittsverdiene over hele forsøket av de beregnede utslippskoeffisientene er vist i tabell 7.

Tabellen viser at utslippet fra ildsted C besto av 68,1% metan, 5,9% andre mettede forbindelser og 26,0% umettede forbindelser. Utslippet var høyere enn 0,1 g/kg ved for metan, etan, eten, propen og etyn. Tilsammen utgjorde metan, etan, eten og etyn (C1- og C2-forbindelsene) 94,1% av utslippet. Alle 12 forbindelsene ble detektert.

De beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve, som er vist i vedlegg 3, viser at det største utslippet forekom i tidsrommet mellom 50 minutter og 70 minutter (P4). I det samme tidsrommet sank temperaturen i røykgassen i bunnen av pipa fra omtrent 335°C til omtrent 255°C (se vedlegg 3). Det laveste utslippet forekom i tidsrommet 35 minutter til 50 minutter. I dette tidsrommet lå temperaturen i røykgassen i området 315°C til 335°C.

Tabell 8 viser resultatene av NBLs målinger av gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO i forsøket i ildsted C.

Tabell 7: Gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for lette hydrokarboner ved vedfyring i ildsted C.
Enhet: g/kg ved.

FORBINDELSE		UTSLIPP
Metan	CH ₄	2,76
Etan	C ₂ H ₆	0,18
Propan	C ₃ H ₈	0,04
N-butan	C ₄ H ₁₀	0,01
Iso-butan	C ₄ H ₁₀	0,00
Eten	C ₂ H ₄	0,66
Propen	C ₃ H ₆	0,13
Trans-buten	C ₄ H ₈	0,01
1-Buten	C ₄ H ₈	0,02
Iso-buten	C ₄ H ₈	0,01
Cis-buten	C ₄ H ₈	0,00
Etyn	C ₂ H ₂	0,22
Sum		4,06
Metan		2,76 (68,1%) ^c
Sum mettede ^a (uten metan)		0,24 (5,9%)
Sum umettede ^b		1,06 (26,0%)

a) Inkluderer etan, propan, n-butan og iso-butan

b) Inkluderer eten, propen, trans-buten, 1-buten, iso-buten, cis-buten og etyn

c) Vektprosent

Tabell 8: Gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra ildsted C.
Enhet: g/kg ved.

CO ₂	CO
1740,8	63,2

3.4 ILDSTED D

Ildsted D er en frittstående ovn av støpejern med enkle vegger og hele dører uten glass. Ildstedet er beregnet for oppvarming av middels store boliger.

Dette ildstedet er av tradisjonell type og representerer derfor den type ildsted som det klart finnes flest av i boliger i

Norge. Det ble derfor bestemt å foreta to forbrenningsforsøk i ildsted D, et med høy forbrenningshastighet og et med lav forbrenningshastighet (nattfyring).

3.4.1 Høy forbrenningshastighet

Forbrenningsforsøket tok omtrent 89 minutter, og forbrenningshastigheten var 2,94 kg ved pr time. Det ble tatt seks prøver.

De målte konsentrasjonene og de beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve er vist i vedlegg 4.

Gjennomsnittsverdiene over hele forsøket av de beregnede utslippskoeffisienten er vist i tabell 9.

Tabellen viser at utslippet fra ildsted D ved høy forbrenningshastighet besto av 56,2% metan, 9,9% andre mettede forbindelser og 33,9% umettede forbindelser. Utslippet var høyere enn 0,1 g/kg ved for metan, etan, propan, eten, propen og etyn. Metan, etan, eten og etyn (C1- og C2-forbindelsene) utgjorde tilsammen 90,2% av utslippet. Alle 12 forbindelsene ble detektert.

De beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve, som er vist i vedlegg 4, viser at det største utslippet forekom mot slutten av forsøket fra omtrent 80 minutter til 89 minutter (P6). I dette tidsrommet var temperaturen i røykgassen i bunnen av pipa lavere enn 140°C (se vedlegg 4). Det laveste utslippet forekom i tidsrommet mellom 17 minutter og 32 minutter (P2). I dette tidsrommet steg temperaturen i røykgassen raskt fra omtrent 265°C til omtrent 350°C.

Tabell 9: Gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for lette hydrokarboner ved vedfyring i ildsted D ved høy forbrenningshastighet.
Enhet: g/kg ved.

FORBINDELSE		UTSLIPP
Metan	CH ₄	4,74
Etan	C ₂ H ₆	0,66
Propan	C ₃ H ₈	0,15
N-butan	C ₄ H ₁₀	0,03
Iso-butan	C ₄ H ₁₀	0,01
Eten	C ₂ H ₄	1,76
Propen	C ₃ H ₆	0,48
Trans-buten	C ₄ H ₈	0,03
1-Buten	C ₄ H ₈	0,09
Iso-buten	C ₄ H ₈	0,04
Cis-buten	C ₄ H ₈	0,02
Etyn	C ₂ H ₂	0,45
Sum		8,44
Metan		4,74 (56,2%) ^c
Sum mettede ^a (uten metan)		0,83 (9,9%)
Sum umettede ^b		2,86 (33,9%)

a) Inkluderer etan, propan, n-butan og iso-butan

b) Inkluderer eten, propen, trans-buten, 1-buten, iso-buten, cis-buten og etyn

c) Vektprosent

Tabell 10 viser resultatene av NBLs målinger av gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO i forsøket med høy forbrenningshastighet i ildsted D.

Tabell 10: Gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra ildsted D ved høy forbrenningshastighet.
Enhet: g/kg ved.

CO ₂	CO
1596,4	85,6

3.4.2 Lav forbrenningshastighet

Forbrenningsforsøket tok omtrent 307 minutter, og forbrenningshastigheten var 0,89 kg ved pr time. Det ble tatt seks prøver.

De målte konsentrasjonene og de beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve er vist i vedlegg 5.

Gjennomsnittsverdiene over hele forsøket av de beregnede utslippskoeffisientene er vist i tabell 11.

Tabellen viser at utslippet fra ildsted D ved lav forbrenningshastighet besto av 66,9% metan, 14,6% andre mettede forbindelser og 18,6% umettede forbindelser. Alle 12 forbindelsene ble detektert, og utslippet var høyere enn 0,1 g/kg ved for alle forbindelsene unntatt iso-butan og 1-buten. Metan, etan, eten og etyn (C1- og C2-forbindelsene) utgjorde tilsammen 89% av utslippet.

De beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve, som vist i vedlegg 5, viser at det var forholdsvis liten variasjon i utslippet gjennom forsøket. Det er likevel tydelig at utslippet steg gradvis og var høyest ved slutten av forsøket i tidsrommet mellom 284 minutter og 307 minutter (P6). I dette tidsrommet var temperaturen i røykgassen i bunnen av pipa lavere enn 60°C (se vedlegg 5). Det laveste utslippet forekom i begynnelsen av forsøket i tidsrommet mellom 0 og 52 minutter (P1). I dette tidsrommet steg temperaturen i røykgassen raskt til omtrent 120°C.

Tabell 12 viser resultatene av NBLs målinger av gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO i forsøket med lav forbrenningshastighet i ildsted D.

Tabell 11: Gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for lette hydrokarboner ved vedfyring i ildsted D ved lav forbrenningshastighet.

Enhet: g/kg ved.

FORBINDELSE		UTSLIPP
Metan	CH ₄	12,60
Etan	C ₂ H ₆	2,06
Propan	C ₃ H ₈	0,55
N-butan	C ₄ H ₁₀	0,11
Iso-butan	C ₄ H ₁₀	0,03
Eten	C ₂ H ₄	1,85
Propen	C ₃ H ₆	0,92
Trans-buten	C ₄ H ₈	0,09
1-Buten	C ₄ H ₈	0,20
Iso-buten	C ₄ H ₈	0,12
Cis-buten	C ₄ H ₈	0,07
Etyn	C ₂ H ₂	0,26
Sum		18,84
Metan		12,60 (66,9%) ^c
Sum mettede ^a (uten metan)		2,74 (14,6%)
Sum umettede ^b		3,50 (18,6%)

a) Inkluderer etan, propan, n-butan og iso-butan

b) Inkluderer eten, propen, trans-buten, 1-buten, iso-buten, cis-buten og etyn

c) Vektprosent

Tabell 12: Gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra ildsted D ved lav forbrenningshastighet.

Enhet: g/kg ved.

CO ₂	CO
1670,8	155,8

3.5 ILDSTED E

Ildsted E er en peisinnatts av støpejern med enkle vegger og store glassareal i dørene. Ildstedet er beregnet for oppvarming av middels store boliger og gir hyggeeffekt fordi forbrenningen kan iakttas gjennom glasset i dørene.

Forbrenningsforsøket i dette ildstedet tok omtrent 154 minutter, og forbrenningshastigheten var 2,47 kg ved pr time. Det ble tatt seks prøver, men et uhell gjorde at den andre prøven (P2) ikke kunne analyseres. For å kunne gjennomføre beregningene på samme måte som for de andre ildstedene, ble det antatt at konsentrasjonene i den andre prøven var gjennomsnittet av de tilsvarende konsentrasjonene i den første (P1) og tredje prøven (P3) (se vedlegg 6). Den mengden ved som ble forbrent mens den andre prøven (P2) ble tatt, utgjorde 21,1% av total forbrent vedmengde. De anslåtte konsentrasjonene i den andre prøven (P2) vil derfor kunne påvirke de beregnede gjennomsnittlige utslippskoeffisientene over hele forsøket.

Konsentrasjonene og de beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve er vist i vedlegg 6. Gjennomsnittsverdiene over hele forsøket av de beregnede utslippsmengdene er vist i tabell 13.

Tabellen viser at utslippet fra ildsted E besto av 55,5% metan, 10,6% andre mettede forbindelser og 33,9% umettede forbindelser. Utslippet var høyere enn 0,1 g/kg ved for metan, etan, propan, eten, propen, 1-buten og etyn. Metan, etan, eten og etyn (C1- og C2-forbindelsene) utgjorde tilsammen 89,8% av utslippet. Alle 12 forbindelsene ble detektert.

De beregnede utslippskoeffisientene for hver prøve, som er vist i vedlegg 6, viser at det var forholdsvis liten variasjon i det samlede utslippet gjennom forsøket. Etter 75 minutter nådde temperaturen i røykgassen i bunnen av pipa et maksimum på omtrent 355°C (se vedlegg 6). Før dette tidspunktet økte temperaturen i røykgassen og etterpå avtok den. Det høyeste utslippet ble målt i tidsrommet mellom 72 minutter og 97 minutter (P4). Den maksimale temperaturen i røykgassen ble oppnådd i begynnelsen av dette tidsrommet og deretter avtok temperaturen til omtrent 305°C.

Tabell 13: Gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for lette hydrokarboner ved vedfyring i ildsted E.
Enhet: g/kg ved.

FORBINDELSE		UTSLIPP
Metan	CH ₄	6,73
Etan	C ₂ H ₆	1,03
Propan	C ₃ H ₈	0,21
N-butan	C ₄ H ₁₀	0,03
Iso-butan	C ₄ H ₁₀	0,01
Eten	C ₂ H ₄	2,67
Propen	C ₃ H ₆	0,74
Trans-buten	C ₄ H ₈	0,04
1-Buten	C ₄ H ₈	0,12
Iso-buten	C ₄ H ₈	0,07
Cis-buten	C ₄ H ₈	0,03
Etyn	C ₂ H ₂	0,45
Sum		12,12
Metan		6,73 (55,5%) ^c
Sum mettede ^a (uten metan)		1,28 (10,6%)
Sum umettede ^b		4,11 (33,9%)

a) Inkluderer etan, propan, n-butan og iso-butan

b) Inkluderer eten, propen, trans-buten, 1-buten, iso-buten, cis-buten og etyn

c) Vektprosent

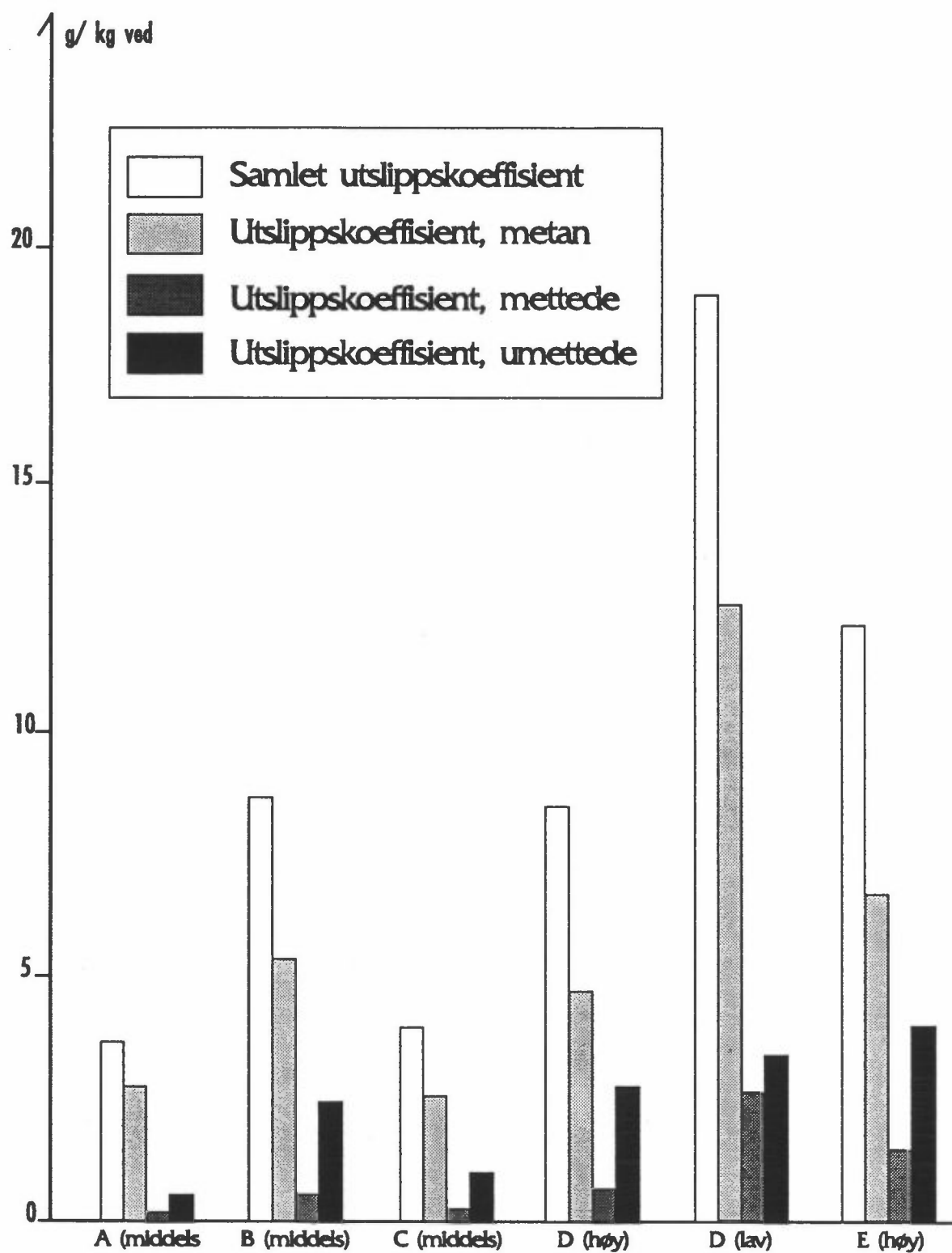
Tabell 14 viser resultatene av NBLs målinger av gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra ildsted E.

Tabell 14: Gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra ildsted E
Enhet: g/kg ved.

CO ₂	CO
1353,2	134,5

4 DISKUSJON

Figur 2 viser noen av de viktigste resultatene fra forbrenningsforsøkene i de fem ildstedene.



Figur 2: Beregnete utslippskoeffisienter i seks forbrenningsforsøk i de fem ildstedene A-E. (Forbrenningshastigheten i hvert forsøk er markert i parentes.)

Det framgår av figuren at forsøket i ildsted A ga det laveste utslippet av lette hydrokarboner, 3,66 g/kg ved, men utslippet fra forsøket i ildsted C var bare marginalt høyere, 4,06 g/kg ved. I disse to forsøkene var også forbrenningshastighetene omtrent like. I vanlig bruk ville imidlertid trolig utslippet fra ildsted A bli lavere enn det som ble målt i forbrenningsforsøket. Årsaken er at avslutningsfasen av forbrenningszyklusen med lav temperatur i katalysatoren ville være av mindre betydning når det stadig legges inn ved i brennkammeret.

Det høyeste utslippet av lette hydrokarboner var 18,84 g/kg ved og ble målt i forsøket med lav forbrenningshastighet i ildsted D. Utslippskoeffisientene i dette forsøket var omtrent 5 ganger høyere enn i forsøket i ildsted A.

Tabellen indikerer også at høy forbrenningshastighet (forsøk i ildsted D og E) gir noe høyere utslipp av lette hydrokarboner enn middels forbrenningshastighet. Det ble imidlertid ikke utført forsøk med middels forbrenningshastighet i ildsted D og E, og derfor kan dette ikke fastslås med sikkerhet.

I forsøket i ildsted A utgjorde metan 78,3% (vekt) av utslippet av lette hydrokarboner. Dette var klart den høyeste metanandelen som ble målt. I de to forsøkene med høy forbrenningshastighet ble den klart laveste metanandelen målt, omtrent 56%. I de andre forsøkene lå metanandelen mellom 63% og 68%.

Andelen av mettede lette hydrokarboner, unntatt metan, i utslippet lå mellom 4,3% og 14,6% i de seks forbrenningsforsøkene. Stort sett økte andelen av disse forbindelsene når totalutslippet økte. Den høyeste andelen av de mettede forbindelsene, 14,6%, ble altså målt i forsøket i ildsted D med lav forbrenningshastighet.

Den høyeste andelen av umettede lette hydrokarboner ble målt i forsøkene med høy forbrenningshastighet i ildsted D og E og var 33,9% i begge forsøkene. I de andre forsøkene lå andelen av disse forbindelsene i utslippet mellom 17,3% og 29,9%.

Tabell 15 viser resultatene av NBLs målinger av gjennomsnittlig utslipp av CO₂ og CO fra de fem ildstedene.

Tabell 15: Gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for CO₂ og CO fra de fem forskjellige ildstedene.

Ildsted	Forbrennings- hastighet	Utslippskoeffisient (g/kg ved)	
		CO ₂	CO
A	Middels (1,67 kg ved/time)	1654,3	27,2
B	Middels (1,35 kg ved/time)	1748,7	113,3
C	Middels (1,88 kg ved/time)	1740,8	63,2
D	Høy (2,94 kg ved/time)	1596,4	85,6
	Lav (0,89 kg ved/time)	1670,8	155,8
E	Høy (2,47 kg ved/time)	1353,2	134,5

En sammenlikning av tabell 15 og figur 2 viser at det var klar sammenheng mellom utslippet av lette hydrokarboner, inkludert metan, og utslippet av CO. I forbrenningsforsøk med forholdsvis høye CO-utslipp var også utslippet av lette hydrokarboner forholdsvis høyt, og forsøk med lave CO-utslipp hadde lave utslipp av lette hydrokarboner.

5 UTSLIPP I NORGE

Det er forholdsvis få tilgjengelige data om totalt vedforbruk i Norge. Rådet for Natur- og Miljøfag ved Universitetet i Oslo

utga imidlertid i 1986 rapporten "Utslipp til luft fra bruk av biomasse til energiformål". I denne rapporten er det presentert en oversikt over hvordan vedforbruket fordeler seg på forskjellige fyringsmåter. Denne oversikten er vist i tabell 16.

Tabell 16: Fordeling av teoretisk energimengde fra vedfyring på forskjellige fyringsmåter.
Enhet: TWh/år.

FYRINGSMÅTE		TEORETISK ENERGI MENGDE
FLISFYRING		0,10
HELVEDANLEGG	OVERFORBRENNING	0,50
	UNDERFORBRENNING	0,33
NYE OVNER		0,10
PEISER		0,28
TRADISJONELLE OVNER	RUNDFYRING, FUKTIG ^a BRENSEL	1,27
	RUNDFYRING, TØRT BRENSEL	0,85
	HARDFYRING, FUKTIG BRENSEL	1,06
	HARDFYRING, TØRT BRENSEL	1,06
TOTALT		5,55

^a) Fuktig brensel er ved med vanninnhold som utgjør minst 25% av totalvekta

Utslippsmålingene som presenteres i denne rapporten inkluderte ikke noe forsøk der vanninnholdet i veden var høyere enn 25% av totalvekta. For å kunne anslå det totale norske utslippet av metan og hydrokarboner antas det derfor at fuktig og tørr ved har det samme utslippet av disse forbindelsene.

Det er heller ikke mulig å vurdere forskjeller i utslippet mellom overforbrenning og underforbrenning i helvedanlegg. Disse to kategoriene slås derfor sammen.

I rapporten fra Rådet for Natur- og Miljøfag angis at i 1983 ble det brukt $1,08 \cdot 10^9$ kg ved regnet som tørrstoff. Dersom det antas at vanninnholdet i vanlig ved utgjør 18% av totalvekta, blir vekt av forbrukt ved i Norge $1,32 \cdot 10^9$ kg. Det antas at forbruket i 1991 er det samme som det var i 1983.

Tabell 17 viser fordelingen av forbrent vedmengde på de fem forskjellige fyringsmåtene vist i tabell 16.

Tabell 17: Fordeling av vedmengde på forskjellige fyringsmåter. Enhet: kg/år.

FYRINGSMÅTE	VEDMENGDE
FLISFYRING	$2,38 \cdot 10^7$
HELVEDANLEGG	$1,97 \cdot 10^8$
NYE OVNER	$2,38 \cdot 10^7$
PEISER	$6,66 \cdot 10^7$
TRADISJONELLE OVNER	$1,01 \cdot 10^9$
TOTALT	$1,32 \cdot 10^9$

I beregningen av det totale norske utslippet av metan og hydrokarboner antas følgende sammenheng mellom fyringsmåtene i tabell 17 og ildstedene som inngikk i utslippsmålingene:

FLISFYRING

Det antas at dette foregår med lav forbrenningshastighet, og derfor velges utslippskoeffisientene som ble målt for ildsted D i forsøket med lav forbrenningshastighet. Dette gir følgende totalutslipp:

Metan : $3,00 \cdot 10^5$ kg/år
 Mettede : $6,52 \cdot 10^4$ kg/år
 Umettede: $8,33 \cdot 10^4$ kg/år

HELVEDANLEGG

Det er trolig ingen av ildstedene som ble inkludert i utslippsmålingene, som har egenskaper som tilsvarer denne fyringsmåten. Det antas imidlertid forholdsvis god forbrenning i helvedanlegg og derfor benyttes utslippskoeffisientene for ildsted C. Dette gir følgende totalutslipp:

Metan : $5,44 \cdot 10^5$ kg/år

Mettede : $4,73 \cdot 10^4$ kg/år

Umettede: $2,09 \cdot 10^5$ kg/år

NYE OVNER

Både ildsted A og C var av moderne type. For vedfyring i nye ovner benyttes derfor gjennomsnittet av de målte utslippskoeffisientene for disse ildstedene. Dette gir følgende totalutslipp:

Metan : $6,70 \cdot 10^4$ kg/år

Mettede : $4,76 \cdot 10^3$ kg/år

Umettede: $2,01 \cdot 10^4$ kg/år

PEISER

Ildsted E var en peisinnsats, og derfor benyttes de målte utslippskoeffisientene fra dette ildstedet. Dette gir følgende totalutslipp:

Metan : $4,48 \cdot 10^5$ kg/år

Mettede : $8,52 \cdot 10^4$ kg/år

Umettede: $2,74 \cdot 10^5$ kg/år

TRADISJONELLE OVNER

Det antas at forbrenning i slike ovner fordeler seg likt på rundfyring og hardfyring. Ildsted D var av tradisjonell type, og derfor benyttes gjennomsnittet av utslippskoeffisientene som ble målt ved lav og høy forbrenningshastighet i dette ildstedet. Dette gir følgende totalutslipp:

Metan : $8,76 \cdot 10^6$ kg/år

Mettede : $1,80 \cdot 10^6$ kg/år

Umettede: $3,21 \cdot 10^6$ kg/år

En sammenstilling av de totale utslippene i Norge fra de forskjellige fyringsmåtene er vist i tabell 18.

Tabell 18 viser at utslippet av metan fra vedfyring i Norge er omtrent 10 000 tonn i året, og at det samlede utslippet av de målte lette hydrokarbonene, inkludert metan, er omtrent 15 800 tonn i året.

Tabell 18: Totale norske utslipp pr år av lette hydrokarboner fra vedfyring med forskjellige fyringsmåter.
Enhet: kg/år

FYRINGSMÅTE	METAN	SUM METTEDE ^a	SUM UMETTEDE ^b
Flisfyring	$3,00 \cdot 10^5$	$6,52 \cdot 10^4$	$8,33 \cdot 10^4$
Helvedanlegg	$5,44 \cdot 10^5$	$4,73 \cdot 10^4$	$2,09 \cdot 10^5$
Nye ovner	$6,70 \cdot 10^4$	$4,76 \cdot 10^3$	$2,01 \cdot 10^4$
Peiser	$4,48 \cdot 10^5$	$8,52 \cdot 10^4$	$2,74 \cdot 10^5$
Tradisjonelle ovner	$8,76 \cdot 10^6$	$1,80 \cdot 10^6$	$3,21 \cdot 10^6$
Totalt	$1,0 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^6$	$3,80 \cdot 10^6$

a) Inkluderer etan, propan, n-butan, iso-butan

b) Inkluderer eten, propen, trans-buten, 1-buten, iso-buten, cis-buten og etyn.

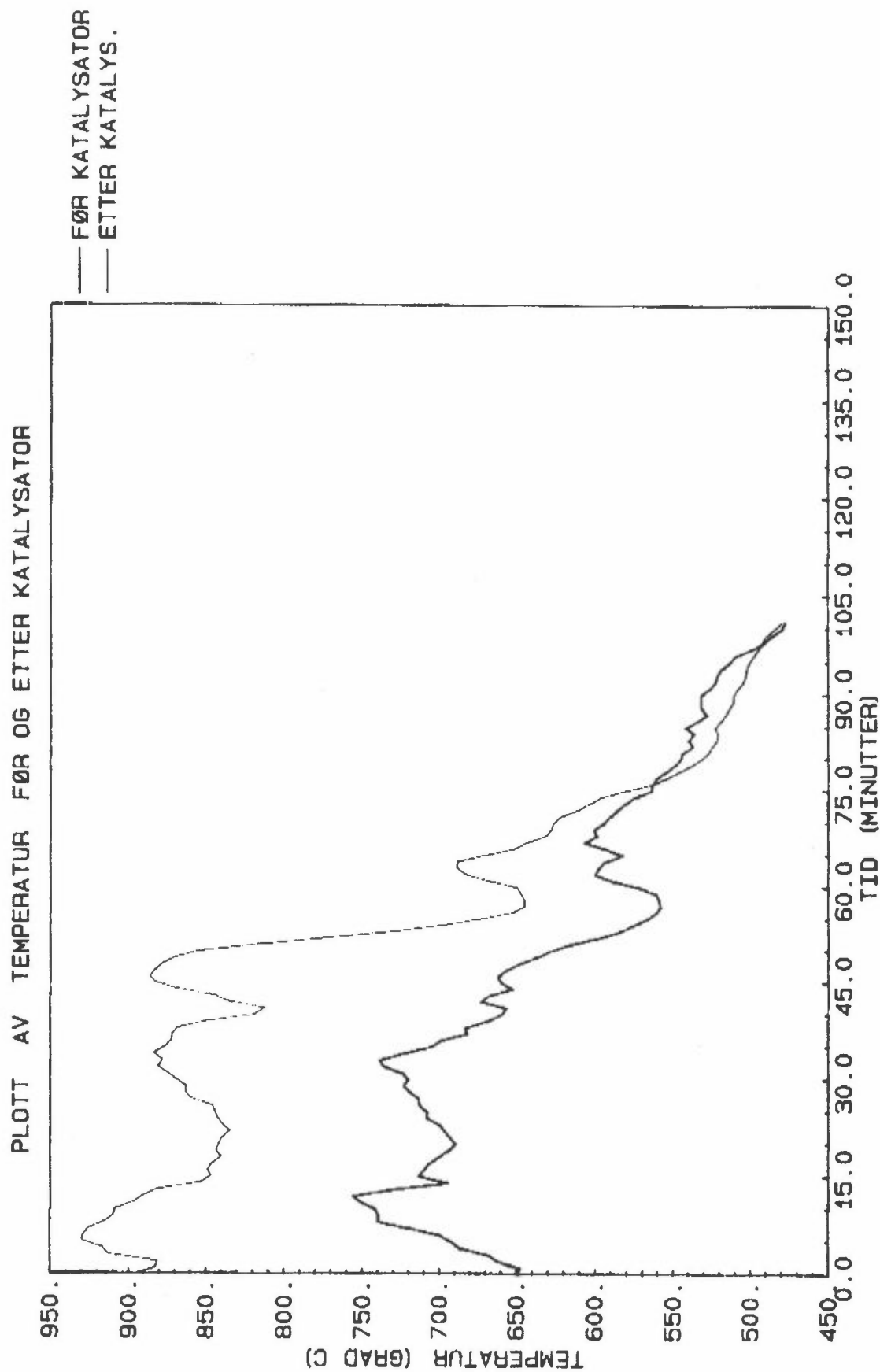
Til sammenlikning regner SFT med et samlet norsk utslipp av metan fra antropogene kilder på omtrent 290 000 tonn pr år. Det beregnede utslippet av metan fra vedfyring i Norge utgjør dermed omtrent 3,5% av det samlede utslippet.

VEDLEGG 1

Ildsted A

Tabell 1.2: Utslippskoeffisienter for vedfyring i ildsted A.
Enhet: g/kg ved.

A	P1	P2	P3	P4	N-		P		TRANS-		1-		ISO-		CIS-		sum	metan	sum mett.	sum umett.
					ISO-	TRANS-	1-	ISO-	CIS-	ISO-	TRANS-	1-	ISO-	CIS-						
M	0.617	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.181	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.871	0.617	0.026	0.228
E	0.427	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.160	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.674	0.427	0.020	0.227
T	10.512	0.520	0.057	0.000	0.000	0.000	2.251	0.215	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	13.758	10.512	0.577	2.669
A	15.201	0.846	0.118	0.000	0.000	0.000	0.509	0.094	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.784	15.201	0.964	0.619
snitt	2.866	0.144	0.015	0.000	0.000	0.000	0.517	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.658	2.866	0.159	0.632



Figur 1.1: Temperatur før og etter katalysatoren i forbrenningsforsøket i ildsted A.

VEDLEGG 2

Ildsted B

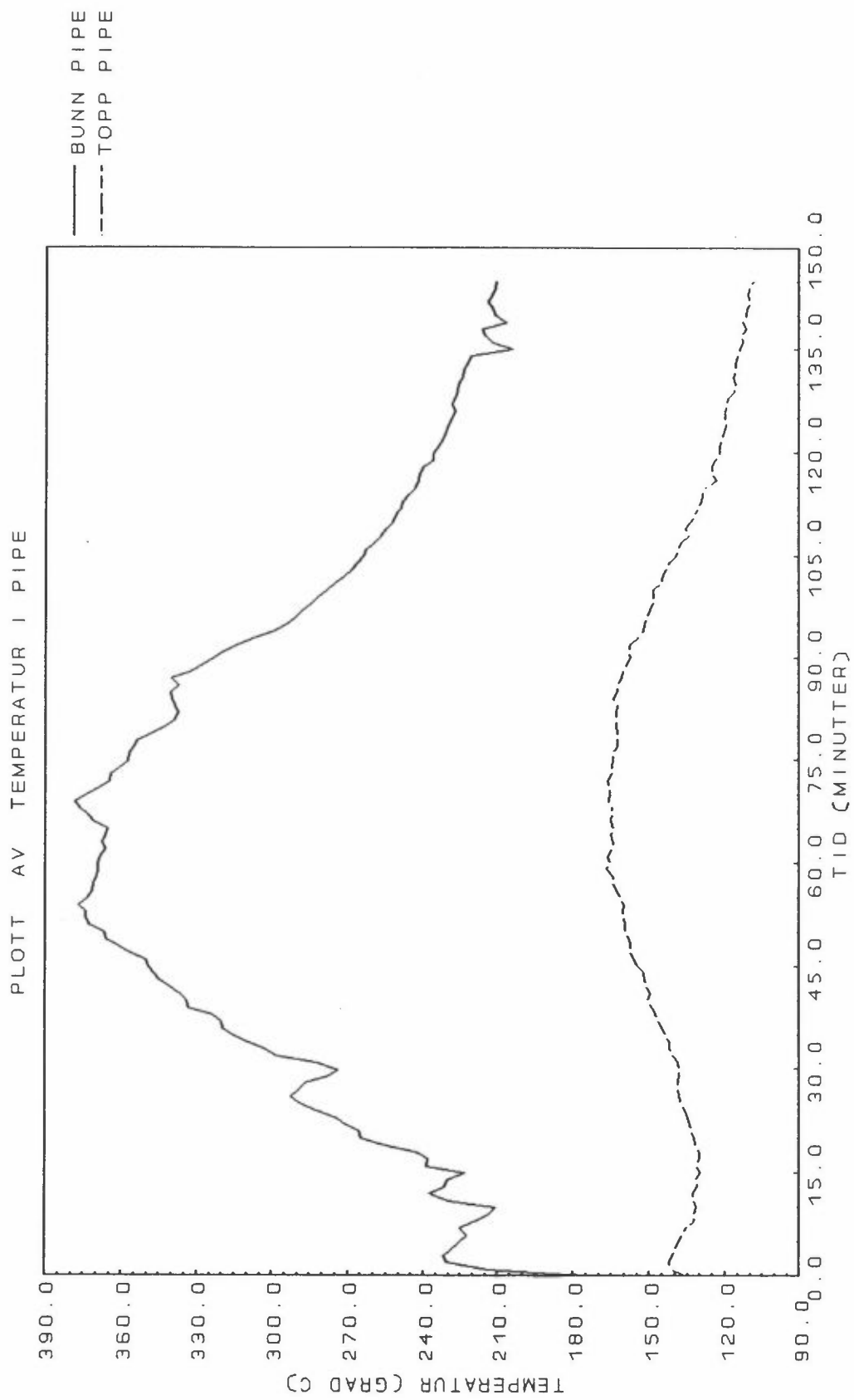
Tabell 2.1: Målte konsentrasjoner i prøvene fra forbrenningsforsøket i ildsted B. (Konsentrasjonene i prøvene merket med * er anslåtte).
Enhet: mg/m³ (Δm har enhet kg).

B	P1	1.005	30	13.430	12.233	1.870	0.460	0.080	0.020	5.900	1.640	0.070	0.280	0.150	0.030	1.310
	P2	0.787	20	25.410	24.213	2.300	0.370	0.050	0.020	14.930	2.260	0.060	0.270	0.150	0.060	3.250
	P3	0.473	20	26.730	25.533	2.210	0.340	0.050	0.020	8.010	1.310	0.030	0.130	0.090	0.020	1.370
	P4	0.211	20	21.000	19.803	1.310	0.200	0.030	0.010	2.580	0.490	0.020	0.060	0.040	0.010	0.630
	P5*	0.141	22	16.225	15.028	0.965	0.150	0.025	0.005	1.455	0.300	0.015	0.035	0.025	0.010	0.340
	P6	0.098	14	11.450	10.253	0.620	0.100	0.020	0.000	0.330	0.110	0.010	0.010	0.010	0.010	0.050

tid
 Δm (min)

Tabell 2.2: Utslippskoeffisienter for vedfyring i ildsted B.
 Enhet: g/kg ved.

B	P1	P2	P3	P4	P5*	P6	ISO-		TRANS-		1-		ISO-		CIS-		sum	metan	sum metn.	sum unnett.
							M	E	T	A	N	P	R	O	P	E				
	2.409	4.060	7.123	12.384	14.917	9.318	0.016	0.004	0.004	1.162	0.323	0.014	0.055	0.030	0.006	0.258	4.735	2.409	0.479	1.847
	0.368	0.386	0.617	0.819	0.958	0.563	0.091	0.003	0.003	2.503	0.379	0.010	0.045	0.025	0.010	0.545	8.037	4.060	0.459	3.518
	0.091	0.062	0.095	0.125	0.149	0.091	0.014	0.006	2.235	0.365	0.008	0.036	0.025	0.006	0.382	10.911	7.123	0.731	3.057	
	0.125	0.149	0.125	0.149	0.149	0.125	0.019	0.006	1.613	0.306	0.013	0.038	0.025	0.006	0.394	15.748	12.384	0.969	2.395	
	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.025	0.005	1.444	0.298	0.015	0.035	0.025	0.010	0.337	18.218	14.917	1.137	2.164	
	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.018	0.000	0.300	0.100	0.009	0.009	0.009	0.009	0.045	10.472	9.318	0.672	0.482	
snitt	5.383	0.489	0.089	0.014	0.004	1.756	0.336	0.012	0.045	0.026	0.007	0.370	8.531	5.383	0.596	2.552				



Figur 2.1: Temperatur i bunn og topp av pipe ved forbrenningsforsøket i ildsted B.

VEDLEGG 3

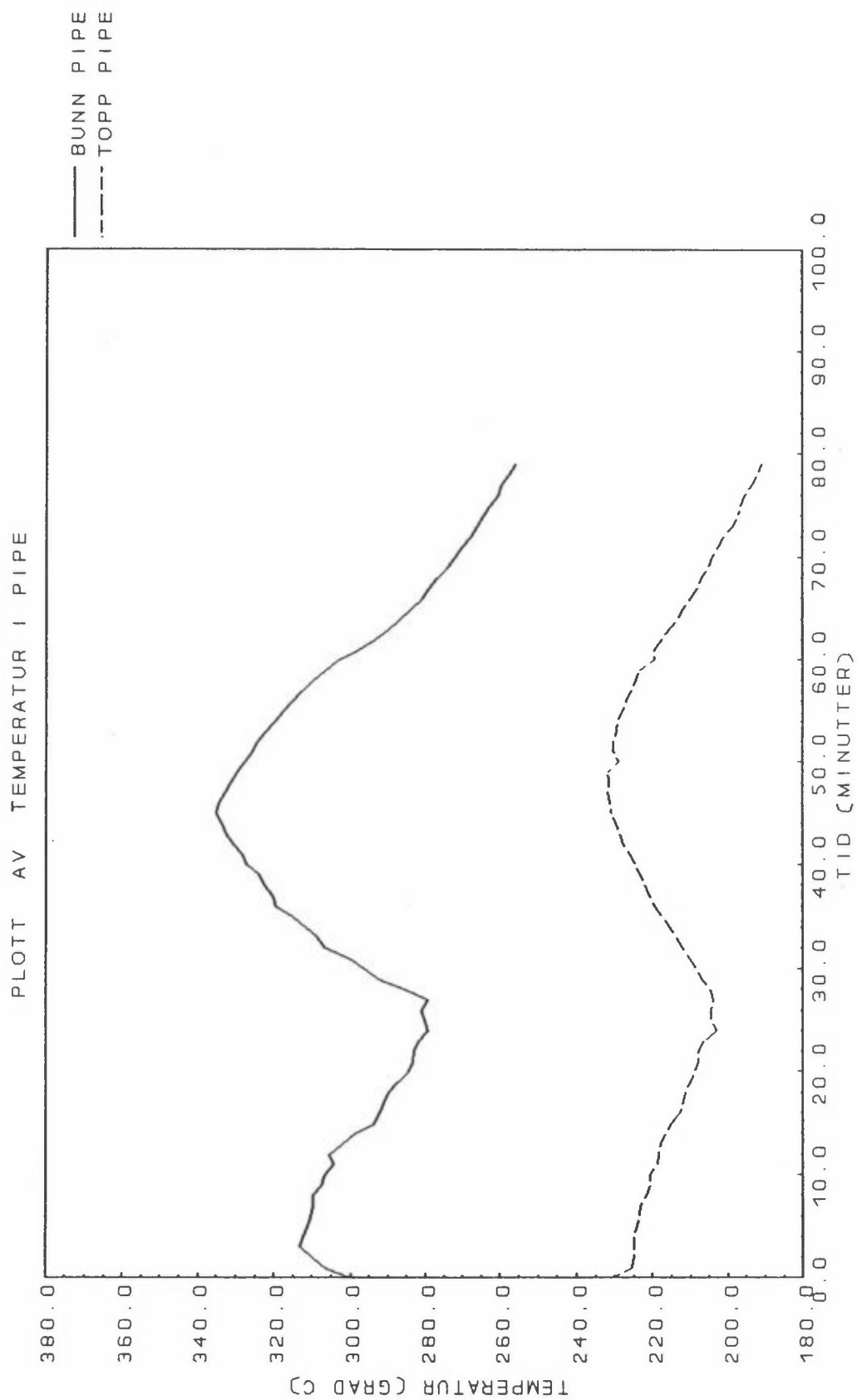
Ildsted C

Tabell 3.1: Målte konsentrasjoner i prøvene fra forbrenningsforsøket i ildsted C.
 Enhet: mg/m^3 (Δm har enhet kg).

C	Δm	tid (min)	M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		
			KOR.																
P1	0.613	15	8.440	7.243	0.630	0.150	0.040	0.040	0.040	4.120	0.700	0.020	0.080	0.050	0.010	0.950			
P2	0.591	15	17.590	16.393	2.020	0.600	0.110	0.020	6.510	1.560	0.100	0.260	0.140	0.060	2.220				
P3	0.602	15	7.640	6.443	0.370	0.050	0.010	0.010	2.470	0.300	0.010	0.030	0.020	0.010	1.450				
P4	0.220	15	27.530	26.333	0.940	0.130	0.020	0.010	1.280	0.240	0.010	0.030	0.010	0.010	0.230				
P5	0.100	11	6.430	5.233	0.050	0.010	0.010	0.010	0.120	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.050				

Tabell 3.2: Utslippskoeffisienter for vedfyring i ildsted C.
Enhet: g/kg ved.

C	P1	P2	P3	P4	P5	snitt	ISO-		TRANS-		1-		ISO-		CIS-		sum	metan	sum metn.	sum umett.	
							N-	P	R	O	P	E	N	B	U	T					E
	M	E	T	A	N		0.100	0.024	0.006	0.006	0.656	0.111	0.003	0.013	0.008	0.002	0.151	2.233	1.153	0.137	0.944
							0.333	0.099	0.018	0.003	1.075	0.257	0.017	0.043	0.023	0.010	0.366	4.951	2.706	0.454	1.791
							0.060	0.008	0.002	0.002	0.400	0.049	0.002	0.005	0.003	0.002	0.235	1.811	1.044	0.071	0.695
							0.417	0.058	0.009	0.004	0.568	0.106	0.004	0.013	0.004	0.004	0.102	12.967	11.676	0.488	0.803
							0.036	0.007	0.007	0.007	0.086	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.036	3.958	3.743	0.057	0.157
							0.183	0.043	0.009	0.004	0.664	0.129	0.007	0.019	0.010	0.004	0.224	4.061	2.764	0.239	1.057



Figur 3.1: Temperatur i bunn og topp av pipe ved forbrenningsforsøket i ildsted C.

VEDLEGG 4

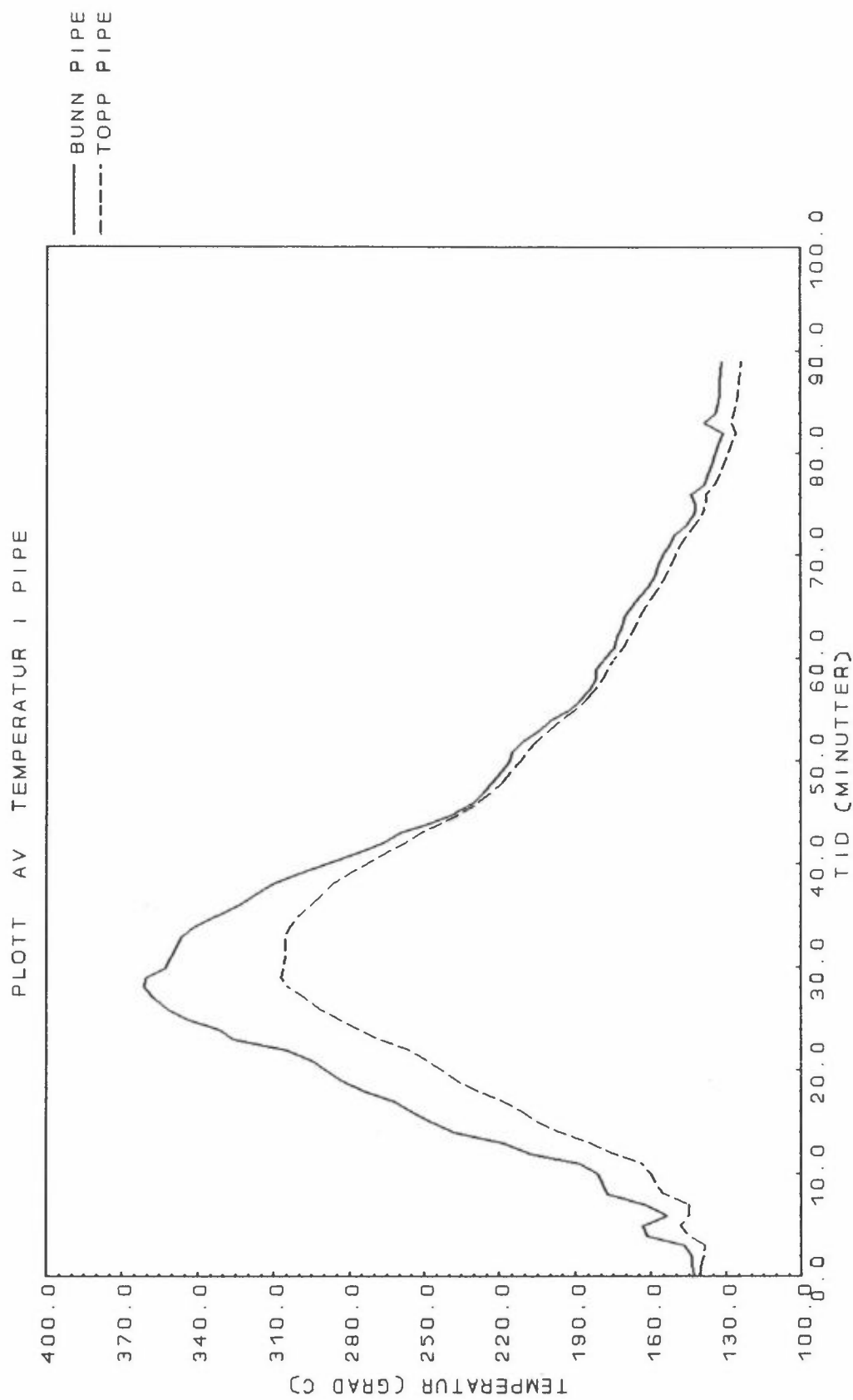
Ildsted D, høy forbrenningshastighet

Tabell 4.1: Målte konsentrasjoner i prøvene fra forbrenningsforsøket med høy
forbrenningshastighet i ildsted D.
Enhet: mg/m³ (Δm har enhet kg).

D	Δm (min)	M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		M E T A N		
		KOR.																
P1	0.994	15	47.970	46.773	5.680	1.120	0.190	0.040	23.240	5.060	0.230	0.930	0.420	0.200	8.630			
P2	1.417	15	5.310	4.113	0.120	0.020	0.020	0.010	2.060	0.190	0.020	0.020	0.020	0.010	1.220			
P3	0.643	15	34.450	33.253	2.840	0.430	0.060	0.020	14.530	2.620	0.090	0.450	0.190	0.060	3.480			
P4	0.382	15	42.870	41.673	6.420	1.490	0.260	0.050	14.740	4.580	0.280	0.900	0.410	0.200	2.550			
P5	0.371	15	35.070	33.873	6.420	1.800	0.330	0.080	7.710	4.090	0.320	0.880	0.470	0.230	0.950			
P6	0.170	7	82.420	81.223	12.550	2.560	0.400	0.100	23.660	7.190	0.370	1.270	0.620	0.260	3.700			

Tabell 4.2: Utslippskoeffisienter for vedfyring i ildsted D ved høy forbrenningshastighet.
 Enhet: g/kg ved.

D	P1	P2	P3	P4	P5	P6	ISO-			TRANS-			1-			ISO-			CIS-			sum	metan	sum mett.	sum umett.
							M	E	T	A	N	P	R	O	P	E	N	B	U	T	E				
	4.490	0.277	4.935	10.411	8.713	21.276	0.545	0.108	0.018	0.004	2.231	0.486	0.022	0.089	0.040	0.019	0.829	8.882	4.490	0.675	3.716				
							0.008	0.001	0.001	0.001	0.139	0.013	0.001	0.001	0.001	0.001	0.082	0.527	0.277	0.011	0.238				
							0.421	0.064	0.009	0.003	2.156	0.389	0.013	0.067	0.028	0.009	0.516	8.611	4.935	0.497	3.179				
							1.604	0.372	0.065	0.012	3.682	1.144	0.070	0.225	0.102	0.050	0.637	18.375	10.411	2.053	5.911				
							1.651	0.463	0.085	0.021	1.983	1.052	0.082	0.226	0.121	0.059	0.244	14.701	8.713	2.220	3.768				
							3.287	0.671	0.105	0.026	6.198	1.883	0.097	0.333	0.162	0.068	0.969	35.075	21.276	4.089	9.710				
snitt	4.741	0.656	0.145	0.025	0.006	1.759	0.477	0.027	0.091	0.043	0.020	0.445	8.436	4.741	0.832	2.862									



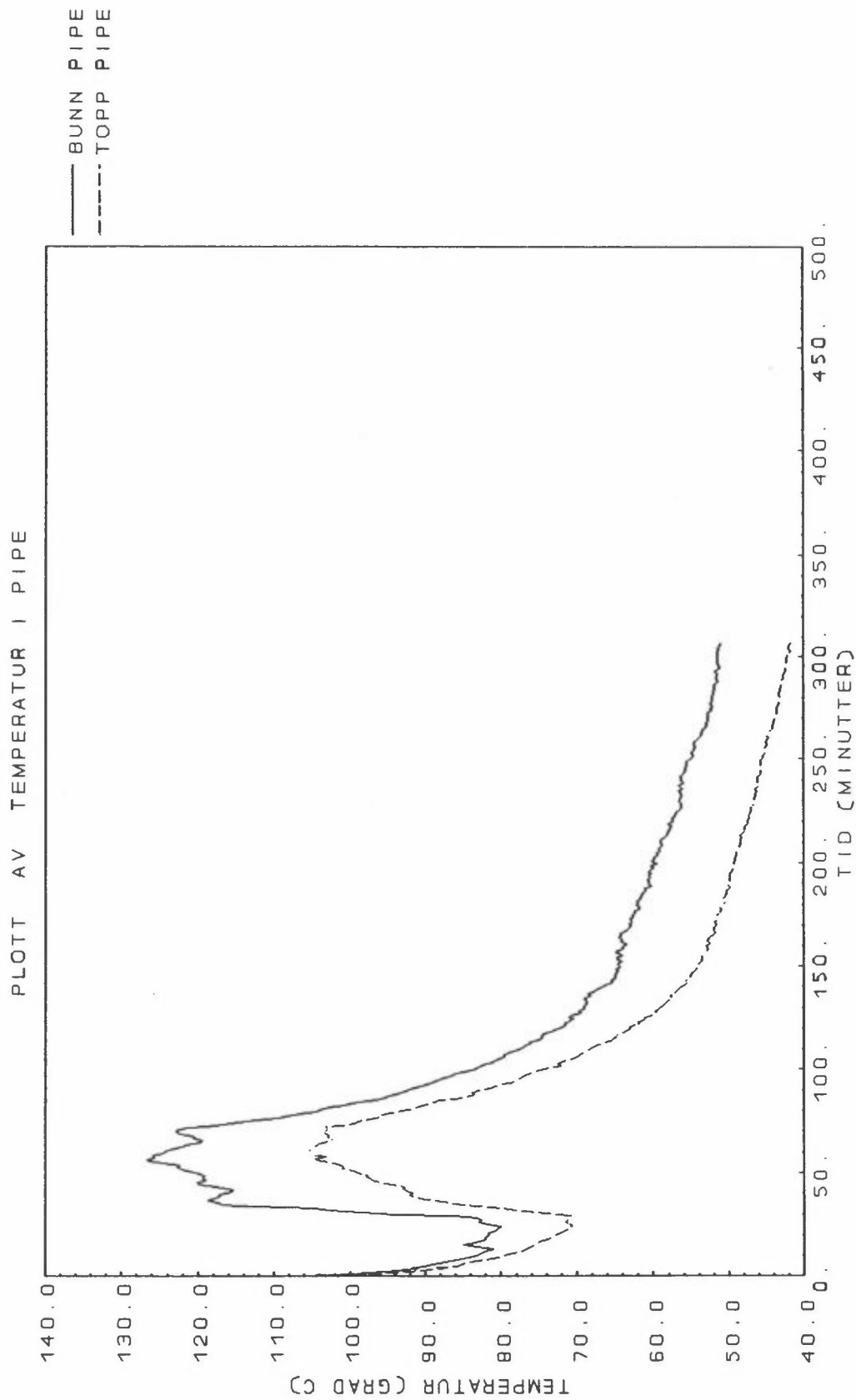
Figur 4.1: Temperatur i bunn og topp av pipe ved forbrenningsforsøket med høy forbrenningshastighet i ildsted D.

VEDLEGG 5

Ildsted D, lav forbrenningshastighet

**Tabell 5.1: Målte konsentrasjoner i prøvene fra forbrenningsforsøket med lav
forbrenningshastighet i ildsted D.
Enhet: mg/m³ (Δ m har enhet kg).**

D-NATT	Δ m (min)	M		N		ISO-		TRANS-		1-		ISO-		CIS-	
		E	T	P	R	B	B	P	R	B	B	U	U	U	U
P1	1.516	24.190	22.993	3.010	0.730	0.130	0.040	8.780	2.620	0.190	0.540	0.260	0.120	2.110	
P2	1.134	37.550	36.353	6.290	1.590	0.310	0.070	5.300	2.950	0.280	0.650	0.380	0.220	0.530	
P3	0.482	16.210	15.013	2.980	0.900	0.180	0.040	1.440	1.060	0.130	0.230	0.160	0.090	0.110	
P4	0.482	27.480	26.283	5.220	1.460	0.310	0.070	2.160	1.720	0.210	0.400	0.250	0.160	0.140	
P5	0.552	29.760	28.563	4.430	1.150	0.230	0.050	2.440	1.580	0.160	0.340	0.220	0.120	0.100	
P6	0.191	38.230	37.033	4.410	1.130	0.230	0.060	2.720	1.590	0.150	0.320	0.230	0.120	0.150	



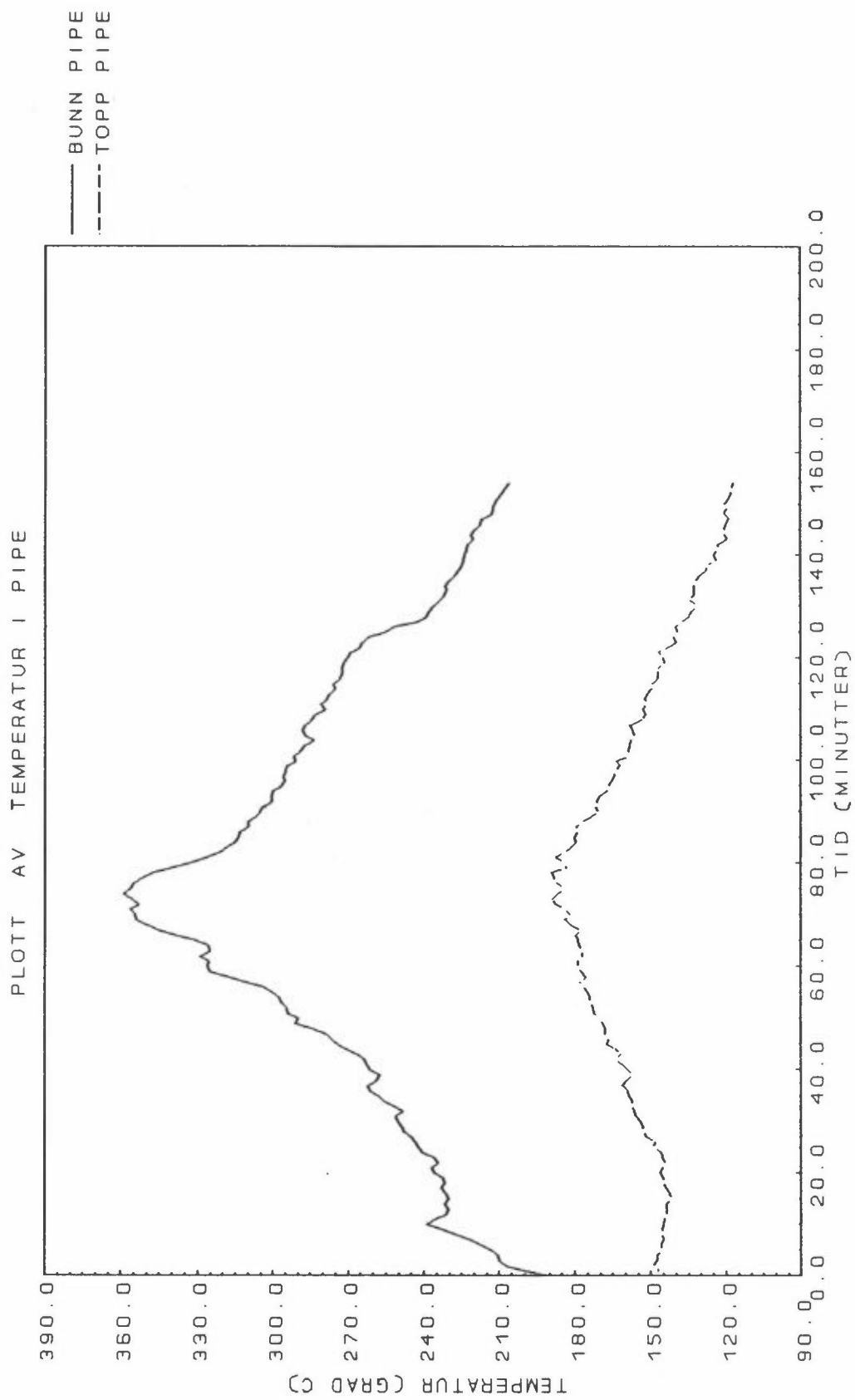
Figur 5.1: Temperatur i bunn og topp av pipe ved forbrenningsforsøket med lav forbrenningshastighet i ildsted D.

VEDLEGG 6

Ildsted E

Tabell 6.2: Utslippskoeffisienter for vedfyring i ildsted E.
 Enhet: g/kg ved.

E	P R O P A N		N- B U T A N		ISO- B U T E N		TRANS- B U T E N		1- B U T E N		ISO- B U T E N		CIS- B U T E N		sum	metan	sum mett.	sum umett.
	0.236	0.035	0.008	4.142	1.035	0.044	0.178	0.086	0.033	0.901	14.872	6.877	1.576	6.419				
P1	1.296	0.035	0.008	4.142	1.035	0.044	0.178	0.086	0.033	0.901	14.872	6.877	1.576	6.419				
P2*	0.842	0.025	0.006	2.354	0.642	0.029	0.107	0.054	0.022	0.430	9.640	4.958	1.044	3.639				
P3	0.977	0.033	0.009	2.257	0.701	0.036	0.112	0.061	0.025	0.280	11.149	6.438	1.238	3.473				
P4	1.263	0.044	0.015	2.904	0.858	0.044	0.140	0.077	0.034	0.322	15.696	9.720	1.595	4.380				
P5	0.905	0.039	0.008	1.311	0.461	0.028	0.079	0.047	0.020	0.106	12.481	9.265	1.165	2.051				
P6	0.363	0.027	0.007	0.222	0.087	0.007	0.020	0.013	0.007	0.034	5.413	4.547	0.477	0.389				
snitt	1.027	0.033	0.009	2.668	0.744	0.035	0.124	0.065	0.026	0.451	12.123	6.728	1.281	4.114				



Figur 6.1: Temperatur i bunn og topp av pipe ved forbrenningsforsøket i ildsted E.



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
 NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
 POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNR. OR 28/91	ISBN-82-425-0249-8	
DATO APRIL 1991	ANSV. SIGN. <i>Johnland</i>	ANT. SIDER 67	PRIS NOK 105,-
TITTEL Utslipp av metan og hydrokarboner fra vedfyring		PROSJEKTLEDER O.-A. Braathen	
		NILU PROSJEKT NR. O-8993	
FORFATTER(E) O.-A. Braathen N. Schmidbauer O. Hermansen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Statens forurensningstilsyn Postboks 8100 Dep 0032 OSLO 1			
STIKKORD Utslipp Vedfyring Metan			
REFERAT Det er foretatt målinger av utslippskoeffisienter for metan og andre lette hydrokarboner ved vedfyring i fem forskjellige ildsteder. Det laveste utslippet ble målt i et ildsted av moderne type med katalysator, og det høyeste utslippet ble målt ved lav forbrenningshastighet i et ildsted av tradisjonell type. På basis av de målte utslippskoeffisientene ble det totale norske utslippet av metan fra vedfyring anslått til omtrent 10 000 tonn pr år.			

TITLE Emissions of methane and hydrocarbons from wood-burning stoves.
ABSTRACT

* Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU A
 Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
 Kan ikke utleveres C