

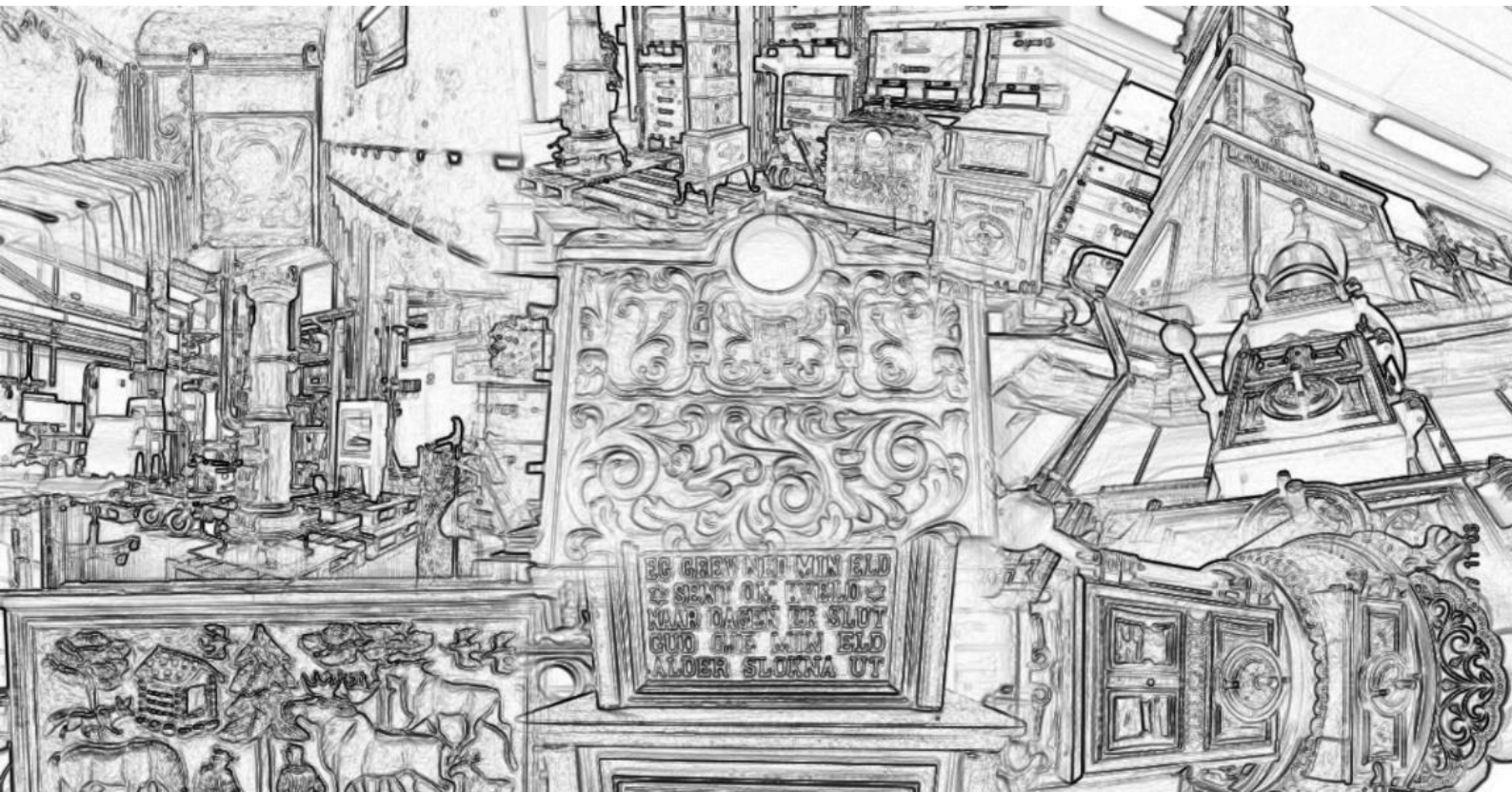
Rapportnummer - Åpen

Prøverapport

Testing av antikvariske vedovner
iht. Norsk Standard NS 3058/59

Forfatter(e)

Morten Seljeskog, Franziska Kausch



SINTEF Energi AS

Sentralbord:

Telefon: 73 59 72 00/Fax: 73 59 72 50

Besøksadresse: Sem Sælands
vei 11, 7034 Trondheim**Postadresse:** Postboks 4761
Torgarden, 7465 Trondheim**Fakturaadresse:** c/o
Fakturamottak, Postboks 4515,
8608 Mo i Rana**EMNEORD:**
Vedfyring,
Partikkelutslipp
Antikvariske ovner

Prøverapport

Testing av antikvariske vedovner iht. Norsk Standard NS 3058/59

VERSJON

V1

DATO

2018-03-12

FORFATTER(E)

Morten Seljeskog, Franziska Kausch

OPPDRAGSGIVER(E)

Riksantikvaren

OPPDRAGSGIVERS REF.

Marte Boro

PROSJEKTNR

XXXX

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

26

PRØVEOBJEKT

4 stk antikvariske vedovner; sylinderovn, etasjeovn, kasseovn, Bjørnovn

PRØVEOBJEKT MOTTATT

Des 2017

PRØVEPROGRAM

NS 3058/59

PRØVESTEDVarmetekniske laboratorier, Trond-
heim, Nasjonal krok for vedovnsutvik-
ling**PRØVEDATO**

Des 2017 – Feb 2018

SAMMENDRAG

SINTEF Energi AS har gjennomført eksperimentelle målinger på fire vedovner representative for hver sin hovedkategori av antikvariske ovner fra tidsrommet mellom 1840-1940. Følgende tabell viser veide hovedresultater fra de eksperimentelle målingene:

	Kasseovn	Bjørnovn	Sylinderovn	Etasjeovn*
Partikkelutslipp (g/kg)	15.10	18.00	16.80	1.28
CO innhold i tørr røykgass, vol %	0.93	0.79	0.83	0.33
CO ₂ innhold i tørr røykgass, vol %	5.72	8.32	5.67	8.79
O ₂ innhold i røykgass, vol %	14.39	13.33	14.53	11.34
Virkningsgrad (%)	74.79	80.86	76.13	72.50

Målinger av partikkelutslipp er gjennomført iht. NS 3058/59. Virkningsgrad er beregnet iht. EN 13240. (*Etasjeovn med kun ett målepunkt grunnet høy lekkasje)

Prøveresultatene gjelder kun de objekter som er prøvd.

UTARBEIDET AV

Hovedforfatter

SIGNATUR

GODKJENT AV

Prosjektansvarlig

SIGNATUR

RAPPORTNR

Rapportnummer

GRADERING

Åpen



Historikk

VERSJON

Skriv versjonsnr

DATO

Velg dato

VERSJONSBEKRIVELSE

[Klikk her og skriv tekst, trykk TAB for å lage ny linje]

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	4
2	Testing av fire kategorier antikvariske vedovner	6
2.1	Fire ovnstyper	6
2.2	Testmetode, eksperimentelt oppsett og måleresultater	8
2.2.1	Typisk eksperimentelt oppsett.....	10
2.2.2	Kasseovn mod. Jøtul 1940.....	12
2.2.3	Bjørnovn	15
2.2.4	Sylinderovn	18
2.2.5	Etasjeovn	21
3	Sammendrag og konklusjon	25

1 Bakgrunn

Riksantikvaren arbeider for bevaring av blant annet gamle hus og de tekniske elementene som inngår i disse. Samtidig er reduksjon av klimabelastningene og forurensing viktige overordnede mål. Antikvariske vedovner representerer viktige kulturhistoriske verdier i våre hus. Samtidig vet man at mye svevestøv i tettbygde strøk kommer fra vedfyring, og det hevdes at antikvariske ovner er verstingene både på utslipp og energieffektivitet. Det er imidlertid ikke gjennomført tidligere testing av hvor mye svevestøv disse ovnene slipper ut. Riksantikvaren ønsker å få fram data på omfanget av slike utslipp fra ulike antikvariske ovnstyper, gjerne når de fyres "riktig" og "galt". Gjennom slike data kan Riksantikvaren bidra til godt kunnskapsgrunnlag når det skal gjennomføres tiltak for reduksjon av svevestøv til tross for at denne typen ovner er unntatt krav om godkjenning for å kunne installeres i dertil godkjent bygningskonstruksjon. Riksantikvaren ønsket å utføre målinger på fire forskjellige ovner som representerer fire typiske kategorier av antikvariske ovner, dette for at man kan få på det rene hva partikkelutslippene blir når ovnene testes iht. protokollen som benyttes for godkjenning av ildsteder for salg på det norske markedet.



Riksantikvaren ønsket å teste fire kategorier ovner fra tidsrommet mellom 1840 og 1940. Ovnene som ble testet var fullt restaurert, dvs. sandblåst, behandlet med to lag med spesiallakk og deretter kittet sammen igjen. Ovnene skulle testes som originalt bygget, dvs. uten typiske inngrep som montering av «etterbrenner»¹.

De testede ovnstypene var:

- Kasseovn
- Bjørnovn
- Sylinderovn
- Etasjeovn



Hovedformålet med prosjektet var å fremskaffe et vitenskapelig underlag for å kunne fastsette partikkelutslipp og virkningsgrad (beregnet iht. EN 13240²) for antikvariske vedovner av kategoriene nevnt over. Ovnene som ble testet ble valgt ut i samarbeid med Riksantikvaren, SINTEF, og firmaet Gamleovner³ som og lånte ut ovnene til testformålet. Firmaet driver profesjonell restaurering av antikvariske vedovner.

Et tidligere prosjekt i 2006⁴ indikerte at noen typer eldre ovner slett ikke har så høye utslipp sammenlignet med dagens krav. Prosjektet var et samarbeidsprosjekt mellom Trondheim kommune og firmaet Ecoxy AS, som leverer såkalte etterbrennere, som viste at de målte partikkelutslippene utrolig nok alle var like eller lavere enn dagens utslippskrav på 10 g/kg. Ovnstypene som ble testet var kasseovn, små/store peisovner og koksovner. Rapporterte

¹ <http://docplayer.me/30352434-Trondheim-kommune-miljoenheten-city-of-trondheim-department-of-environment-rapport-report.html>

² <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=137984>

³ <http://www.gamleovner.no/>

⁴ Etterbrennar for å redusere svevestøvutslipp I eldre vedomnar - pilotprosjekt i trondheim, 2005-200, ISBN 82-7727-101-8, Rapportnr., TM2006/02

utslippstall er fra tester foretatt i laboratorium da det viste seg vanskelig å få til gode feltmålinger. Det stilles imidlertid store spørsmålstegn til hvordan disse målingene ble utført og om de i det hele tatt ble gjennomført iht. gjeldende testprosedyre. Dette er dårlig dokumentert i rapporten. Måleresultatene på originale ovner uten etterbrenner påmontert, kan tyde på at forsøkene trolig ble gjennomført med mye forbrenningsluft, noe som tilsier rundt nominell effekt. Typisk øker utslipp fra vedfyring i alle typer ovner eksponentielt med synkende vedomsetning, som igjen i all hovedsak bestemmes av mengde tilført forbrenningsluft.

Økt fokus på luftkvalitet samt lite og dårlig dokumentasjon på utslipp fra både eldre (1940-1998) samt antikvariske vedovner (< 1940) har etter hvert presset fram et ønske fra flere hold, både statelig og kommunalt, om å framskaffe bedre dokumentasjon på utslipp fra vedfyring. Målsettingen dette aktuelle prosjektet er derfor å utføre eksperimentelle målinger iht. den samme testmetoden som benyttes ved godkjenning av nye ovner som skal inn på det norske markedet, spesifikt som Norsk Standard NS 3058/59 for å fastslå partikkelutslipp og virkningsgrad for fire typer antikvariske vedovner. Sikkerhetstest, som også er en del av godkjenningsprosessen hvor man bestemmer avstand til brennbart materiale, skulle ikke gjennomføres. Vedovnsforsøkene ble utført i SINTEF Energi's eksisterende eksperimentelle oppsett som er i samsvar med måleoppsettet beskrevet i NS 3058/59.

Per i dag stilles det krav fra myndighetene til miljøvennlig utforming av vedfyrte ildsteder. Noen av disse kravene fremgår av standarder, hvor standardene gir detaljer for hvordan myndighetskravene skal tilfredsstilles. Ett av kravene er at ildstedene skal utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot forurensning. Utslipp av partikler skal ikke overstige verdier gitt i Norsk Standard NS 3058- del 1-4:1994⁵ med krav til utslipp iht. NS 3059:1994⁶ som også er hjemlet i Byggeteknisk forskrift (TEK17) under Kapittel 9 Ytre miljø, «§ 9-10. Utslippskrav til vedovner» (se Figur 1). § 9-10 omfatter og beskrivelse av unntak for antikvariske ovner.

Unntak for antikvariske ovner: Eldre bevaringsverdige ildsteder kan brukes der interiøret ønskes beholdt eller tilbakeført til tidsepoken det ble bygget i, med originale eller kopierte bygningdetaljer. Godkjenning for unntak bestemmes av relevante myndigheter i den enkelte kommune.

TEK17 med henvisning til NS 3059:1994 fastsetter at partikulært utslipp fra lukkede vedfyrte ildsteder ikke skal overstige spesifiserte tillatte verdier. Maksverdiene er satt ut fra veide middelverdier som er beregnet ut fra målutslipp ved de fire spesifiserte belastningsområdene (belastning er vedforbruk på tørr basis i kg/t).

Figur 1: TEK 17 utslippskrav til vedovner og unntaksbeskrivelse for antikvariske ovner

Kapittel 9 Ytre miljø

§ 9-10. Utslippskrav til vedovner

(1) Lukket ildsted for vedfyring skal utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot forurensning. Utslipp av partikler fra slikt ildsted skal ikke overstige verdiene gitt i Norsk Standard NS 3059:1994 Lukkede vedfyrte ildsteder – Røykutslipp – Krav.

Veiledning til første ledd

Kravet til begrensning av partikkelutslipp er satt i samarbeid med Klima- og miljødepartementet. Vektet gjennomsnittlig partikkelutslipp per kg forbrent ved, skal ikke overstige 5 gram for ovner med katalysator, og 10 gram for ovner med annen teknologi.

Kravet omfatter følgende vedfyrte ildsteder for romoppvarming, som fremgår av definisjonen i [NS-EN 13240:2001](#).

- ildsteder for romoppvarming med eller uten vannkappe
- lukkede peisinsatser
- vedkomfyrer for matlaging med eller uten vannkappe.

Ildstedene skal testes for partikkelutslipp i henhold til [NS 3058:1994](#). Testen kan utføres hos et teknisk kontrollorgan som er akkreditert for å utføre tester etter disse standardene.

Det som er unntatt fra partikkeltesting er magasinerende ildsteder i henhold til [NS-EN 15250:2007](#), vedkomfyrer med begrenset vedinnlegg og som kun er beregnet for matlaging, og kjeler som skal plasseres i fyrrum.

NS-EN 13240:2001 har henvisning til nasjonale krav til partikkelutslipp som varierer fra nasjon til nasjon, jf. kapittel 6-2 og Annex ZA.1.

(2) Der eldre bevaringsverdig ildsted er nødvendig av hensyn til interiøret i kulturhistorisk, antikvarisk eller verneverdig bygning, kan bevaringsverdig ildsted likevel tas i bruk.

Veiledning til annet ledd

Bruk av eldre bevaringsverdig ildsted kan være nødvendig i bygning eller byggverk der en ønsker å beholde interiøret eller tilbakeført til tidsepoken det ble bygget i, med originale eller kopierte bygningdetaljer.

Merk at noen kopier av antikvariske ovner kan leveres med moderne, rentbrennende teknologi.

Det er viktig å kontrollere at skorsteinen tåler den røykgasstemperatur som ildstedet er testet for.

Henvisninger

> Last ned Informasjonsark 3.11.3 Vedovner fra Riksantikvaren her (pdf). [↗](#)

⁵ <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=133347>

⁶ <https://www.standard.no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=133351>

2 Testing av fire kategorier antikvariske vedovner

Fire kategorier, som nevnt innledningsvis, antikvariske vedovner ble montert opp og instrumentert i Varmetekniske laboratorier (VATL) i Trondheim, i den delen av laboratoriet som benevnes «Nasjonal krok for vedovnsutvikling» (se Figur 2). Ovnene som alle var helrestaurert var utlånt av et privat firma. Noe restmontering og kitting ble foretatt etter overlevering.

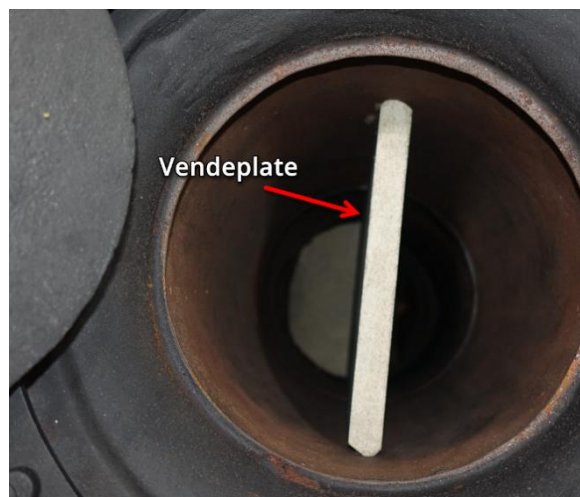
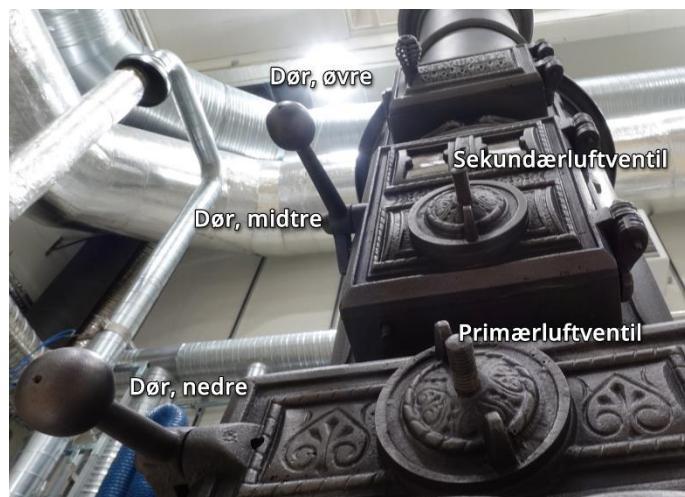
2.1 Fire ovnstyper⁷

Kasseovn representert ved JØTUL 1940

Kasseovner var de første enkle lukkede ovnene som kom i bruk, og bestod kun av en enkel støpejernskasse. De forekommer enten som bileggerovner eller som vindovner. Bileggerovner ble fyrte via peisen i naborommet. Den har derfor ingen døråpninger. Ovnstypen har vært i bruk helt opp til rundt 1900. Vindovnen er en frittstående kasse som fyres via en døråpning og et eget røykrør føres inn i pipa. Vindovnene ble alminnelige fra 1600-tallet og har vært den mest vanlige ovnsformen i Norge helt opp til våre dager.

Sylinderovn eller rund magasinovn

Den såkalte «rundbrenneren» for ved, koks og kull kom på markedet etter 1850. De samme modellene ble produsert av flere jernstøperier. Ovnene er kanonformet og består av brennkammer i den nedre brede sylindere. En påfyllingsdør er plassert lenger oppe, mens oppfyringsdør og slaggtaksdør, begge med trekkventiler, er plassert nederst på fronten. De fleste magasinovnene er produsert før 1920 og produksjon av runde koksovner opphørte i det vesentlige før 1940. Ovnene hadde ofte en vendeplate i toppen som sørget for lang røykgassføring for å øke varmeuttaket.



Etasjeovn

Ovnstypen kom tidlig på 1700-tallet for å utnytte brenselet bedre. De hadde en lav fyringskasse med én til fire overetasjer i avtrappede størrelser, formet som portaler eller triumfbuer, eventuelt avsluttet med en pyramide eller

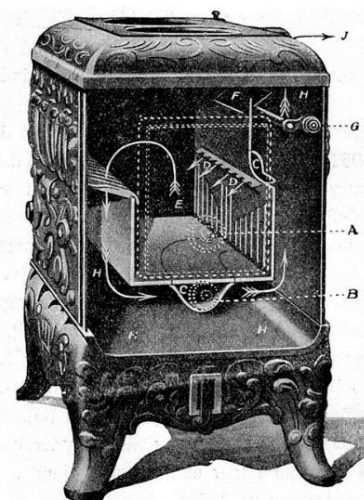
⁷ Fra INFORMASJONSARK 3.11.3 Vedovner (Riksantikvaren)

en obelisk. Senere finner vi typiske 1800-tallets etasjeovner fra historismen. De består av langsmale, rektangulære brennkammer, gjerne med avskrådde hjørner, med ileggsdører på kortsiden og med askeplate foran.

Overetasjene består av jevne kasser i flere etasjer. Mellom kamrene er det dekorerte gitterdører. Toppen krones gjerne med en svungen gesims. De aller fleste etasjeovnene er produsert før 1940. Et kjent unntak er etasjeovnen fra Ulefos, som fortsatt produseres etter modell fra 1700-tallet, dog utstyrt med katalysator i dag. Frem til ca.1850 stod ovnene på trekrakker som enten skulle illudere støpejern eller murverk. Mange trekrakker er i seinere tid erstattet med krakker i ikke-brennbart materiale. Utformingen av askeskuffen på en typisk etasjeovn gjorde at disse ikke kunne strupes igjen i samme grad som de andre ovnstypene. Mye utilsiktet luft kom inn gjennom ristbunnen pga. en relativt primitiv løsning for askeskuff.

Bjørnovn

Ovnstypen var i en egen kategori når det gjaldt forbrenningsteknologi. Helt fra begynnelsen av 1900-tallet ble det produsert ovner med sekundærforbrenning. Mest kjent er Bjørnovnene fra Drammen Jernstøperi. Disse er også utstyrt med omstillingsspjeld for «rundtrekk». Rundtrekken erstattet etasjeovnens lange røykkanal. Også Ulefos Jernverk var på banen. For 100 år siden startet også dette tradisjonsrike verket med produksjon av Worsøe's patentovner og samtidig ble en av deres egne etasjeovner utstyrt med lignende teknologi. Den siste utgaven av den historiske modellen fra 1766 produseres ennå – i dag utstyrt med katalysator som bruker sekundærluft til forbrenningen.



<http://www.magasinet-norskehjem.no/fyreruriktig/>



Sitat fra Drammens Jernstøperi's katalog

Ovnen har et stort ilegg. Det er anordnet så vel primær som sekundær lufttilførsel, hvorved forbrenningen kan reguleres overordentlig nøyaktig. Ovnen kan derfor med letthet holdes i gang døgnet rundt med påfylling kun morgen og aften i likhet med koksmåsinovner. Ennvidere opnåes den store fordel at en del av luften, nemlig den som slippes inn gjennom den underste ventil, forvarmes på sin vei gjennom et kanalsystem, hvoretter den slippes jevnt fordelt inn i ildrummet gjennom en rekke huller. Herved opnåes at forbrenningsgassene blir godt blandet med den innførte luft. Dette er av avgjørende betydning for at man kan oppnå fullstendig forbrenning.

2.2 Testmetode, eksperimentelt oppsett og måleresultater

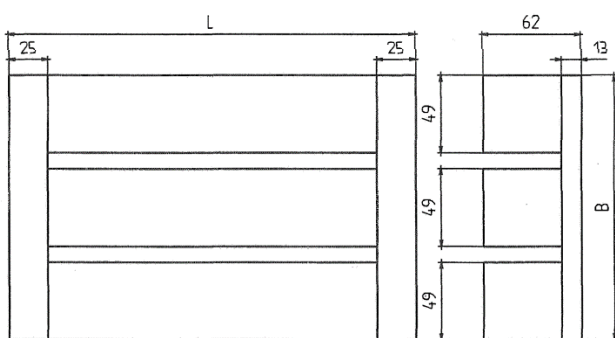
Testmetoden som ble benyttet under forsøkskjøringene er identisk med metoden som benyttes ved godkjenning av ildsteder for salg i Norge. Siden 1998 skal vedovner for bruk i bolighus godkjennes for salg og bruk i Norge i henhold til norsk standard NS3058-59. Ovnene må oppfylle utslippskravene som er beskrevet i NS3059⁶ også referert i den til i gjeldende tekniske byggeforskrifter.



Figur 2: SINTEF - Nasjonal krok for vedovnsutvikling i Varmeteknisk Laboratorium på Gløshaugen i Trondheim

NS 3058-1 beskriver prøvingsoppsett og fyringsmønster.

Prøvingsbrenselet er av gran og skal ha en fuktighet på mellom 16 til 20% på våt basis eller 19 til 25 % på tørr basis. Eksempel på prøvebrensel er vist i Figur 3.



Figur 1: Prøvingsbrensel, plassering og mål
Figure 1: Test fuel, arrangement and dimensions



Figur 3: Eksempel på prøvingsbrensel

Belastningsområdene er gitt som midlere brenselforbruk angitt i kilogram tørt brensel per time over en prøvingsperiode. Det skal foretas prøvinger innenfor hvert av de fire belastningsområdene i henhold til ildstedets klasse. Klasene bestemmes etter det laveste belastningsområdet som oppnås for den aktuelle ovnen.

Tabell 1: Definerede klasser og belastningsområder

	Midlere brenselforbruk i kg/h Average burn rate in kg/h			
	Belastningsområde 1 Burn rate category 1	Belastningsområde 2 Burn rate category 2	Belastningsområde 3 Burn rate category 3	Belastningsområde 4 Burn rate category 4
Klasse 1 Grade 1	< 0,80	0,80–1,25	1,26–1,90	> 1,90
Klasse 2 Grade 2	< 1,25	1,25–1,90	1,91–2,80	> 2,80

NS 3058-2 fastsetter kriterier for bestemmelse av partikulære utslipp.

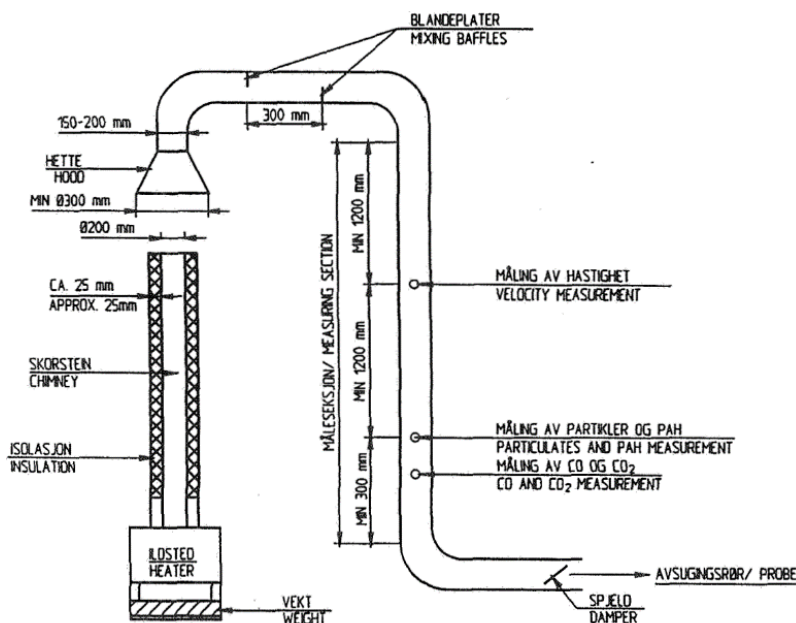
Her spesifiseres metoden for å bestemme mengden av partikulære utslipp i røykgassen fra vedfyrte ildsteder basert på målinger i en uttynningstunnel som illustrert i Figur 4. Røykgassen fra ildstedet suges inn i en samlehette sammen med omgivelsesluften og uttynnes. Fra den uttynnede røykgassen suges det isokinetisk, og gassens partikler samles opp ved hjelp av to glassfiberfiltre i serie. Partikkelmassen bestemmes etter at fuktigheten er fjernet.

NS 3058-3 gir kriterier for bestemmelse av organiske mikroforurensninger (PAH)

NS 3058-4 gir kriterier for bestemmelse av karbonmonoksid (CO)- og karbondioksid (CO₂-mengde i røykgassen

NS 3059 fastsetter krav til partikulære utslipp fra lukkede vedfyrte ildsteder.

Den veide middelveiden beregnes fra måleresultatene for utslippene ved de fire belastningsområdene som er beskrevet i NS 3058-1:1994. Utslippene ved prøving skal ikke i noen av målingene overstige det høyeste tillatte utslippet.

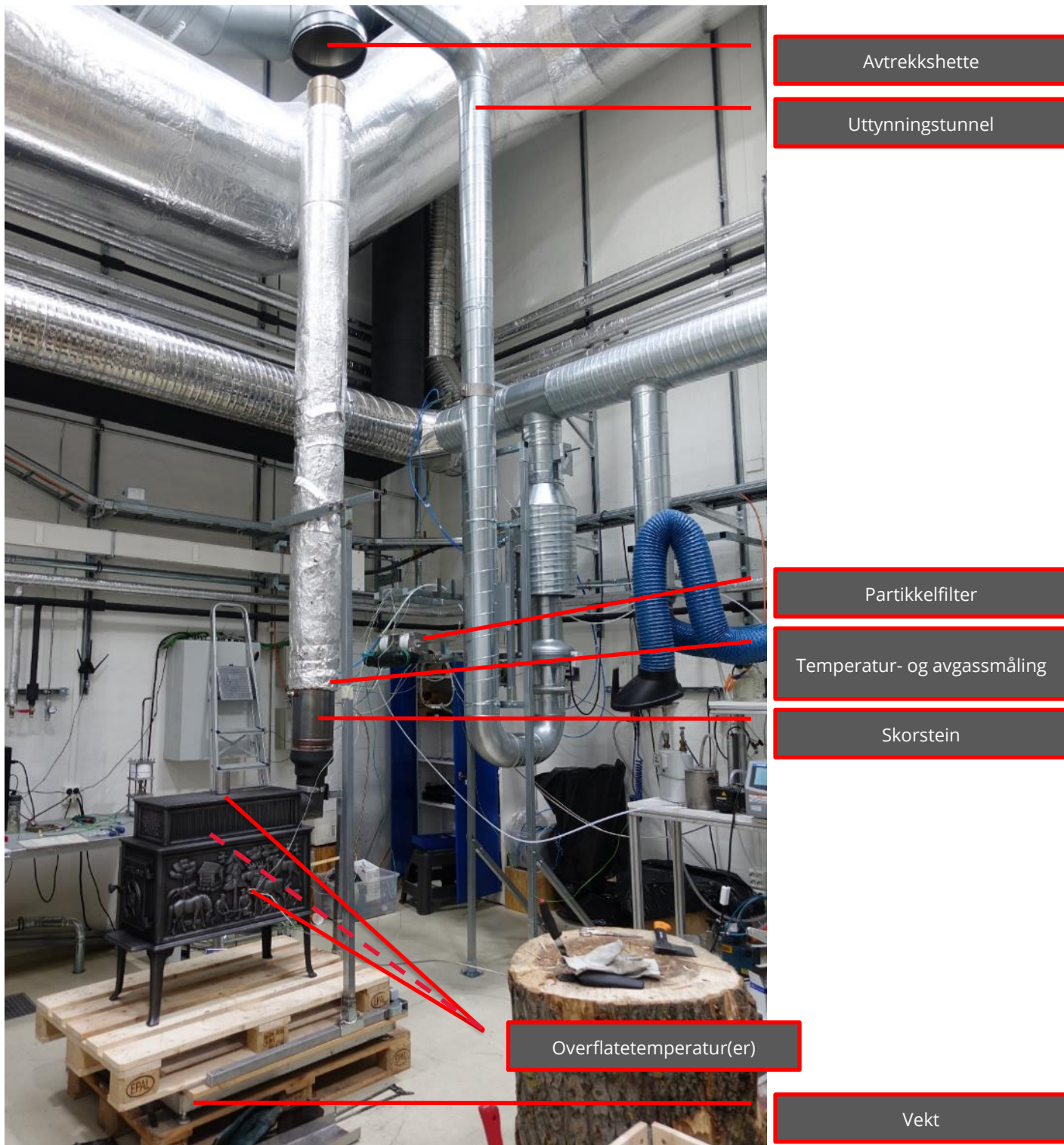


Tabell 2: Utslippskrav for lukkede vedfyrte ildsteder **Figur 4: Uttynningstunnel med ildsted og skorstein**

	Høyeste tillatte utslipp for en prøving Maximum allowable emission for one test	Største veide middelveidi Maximum weighted mean value
Ildsteder med katalysator Catalyst-equipped wood heaters	10 g/kg	5 g/kg
Ildsteder uten katalysator Non-catalyst wood heaters	20 g/kg	10 g/kg

2.2.1 Typisk eksperimentelt oppsett

Figur 5 viser et typisk måleoppsett her eksempelvis med kasseovn installert. De fire testede ovnene ble plassert på vekt og tilkopleet skorstein.



Figur 5: Typisk måleoppsett iht. NS 3058/59

Beregning av brennkammervolum

Prosedyren for beregning av størrelsen på brennkammeret er spesifisert i NS3058. Størrelsen på dette er av stor viktighet da denne størrelsen bestemmer hvor stor mengde prøvningsbrensel ovnen skal testes på, noe som direkte påvirker mengden partikler som produseres ila. et prøvningsforsøk. Beregning av dette for hver av de testede ovnene er gitt i Tabell 3. Rundovn ble testet med stående brensel.

Tabell 3: Beregnet brennkammervolum

Ovnstype	Høyde (cm)	Bredde (cm)	Dybde (cm)	Brennkammer-volum (m ³)	Prøvningsbrensel, lengde & antall
Kasseovn	31	17,6	68,2	0,0193	60 cm, 2x3
Bjørnovn	20	23	69	0,0317	60 cm, 2x3
Rundovn	36,4		Φ = 26	0,0193	30 cm, 2x3
Etasjeovn	28,7	17,7	42	0,0213	33 cm, 2x3

Måling av lekkasjerate

Måling av lekkasjerate for en ovn sier noe om hvor mye falsk luft ovnen trekker inn gjennom utilsiktede åpninger. Da total luftmengde gjennom ovnen er av stor betydning for bl.a. virkningsgrad er det viktig at lekkasjene er så små som mulig. Lekker ovnen for mye vil man heller ikke kunne kjøre den langt nok ned i vedomsetning til at den blir godkjent (< 1.25 kg/t) for installasjon i vanlig bolighus. Lekker ovnen på «feil» sted vil den og kunne forstyrre selve forbrenningen i brennkammeret og medføre dårligere utbrenning der utbrenningen er ment å finne sted. Lekkasjerater blir målt ved et gitt undertrykk. De målte lekkasjeratene ved 25 Pascal undertrykk er gitt i Tabell 4.

Tabell 4: Målt lekkasjerate

Ovnstype	Lekkasjerate (m ³ /t)
Kasseovn	17
Bjørnovn	19,3
Rundovn	21,4
Etasjeovn	48 (m/pakning i dør/ca. 100 (originalt))

Flere av mottatte ovnene hadde lekkasjer i bl.a. i skjøter samt i noen tilfeller, hull i sideplater (JØTUL 1940). Disse ble utbedret ved kitting, hvorpå lekkasjeraten ble målt. Spesielt etasjeovnen hadde utpreget stor lekkasje, i hovedsak grunnet spalte mellom frontdør og ramme. Iht. restauratøren er denne typen ovner kjent for å slippe gjennom en del utilsiktet luft gjennom askeskuffen. SINTEF valgte å teste ovnen både slik den var, samt med påsatt dørpakning.

Utstyr for måling av lekkasjerate er vist i Figur 6.



Figur 6: Utstyr for måling av lekkasjerate

2.2.2 Kasseovn mod. Jøtul 1940

Kasseovn med detaljbilder er vist under i Figur 7.



Figur 7: Detaljer ved oppsett og testing av kasseovn.

Forklaring til bildetekst Figur 7:

- 1 Oppsatt på vekt og instrumentert på målestand
- 2 Sett bakfra venstre side
- 3 Frontdør med reguleringsventil
- 4 Gjennomgående hull i sideplater
- 5 Gjennomgående hull i sideplater
- 6 Prøvningsbrensel, 60 cm, 2x3
- 7 Brennkammer etter forsøk
- 8 Brennkammer etter forsøk
- 9 Føler for registrering av overflatetemperatur
- 10 Tjæredannelse på innvendige flater etter lavlastforsøk
- 11 Opptenning av prøvningsbrensel
- 12 Partikkelfilter fra forsøk No 6, lav last, 0.85 kg/t ~ 3,2 kW, 17.9 g/kg

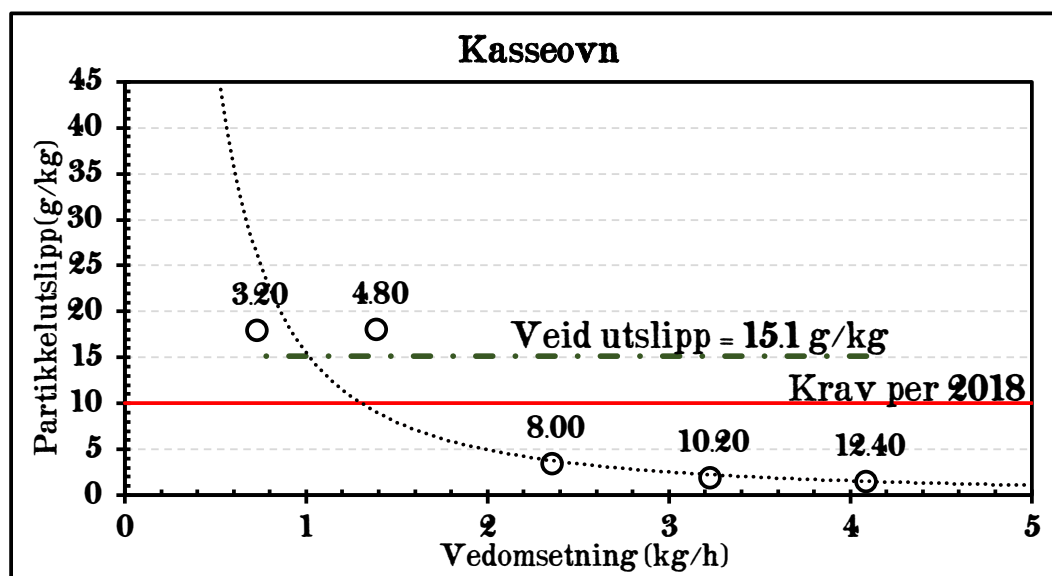
MÅLERESULTATER

Partikkelutslipp

Resultatene for kasseovnen er vist i Figur 8 og Figur 9. Per 2018 er det fremdeles slik at det er krav kun til partikkelutslipp i Norge. Kravet, som tidligere nevnt er at ingen av målingene skal gi høyere utslipp en 20 g/kg samt at de veide målingene ikke skal overstige 10 g/kg. Kasseovnen viser tydelig tegn på at partikkelutslippene øker når forbrenningsluften strupes igjen, slik at vedomsetningen går ned. Ingen av målingene gav utslipp som oversteg 20 g/kg. De veide utslippene kom på 15.1 g/kg, noe som tilsier at ovnen ikke ville blitt godkjent. Man skal samtidig ha i minnet at denne typen forsøk er beheftet med store variasjoner i hovedsak knyttet til operatør og inhomogenitet i brensel. Hadde man utført flere repeterende forsøk kunne resultatene godt ha endret seg +/- 10-20% slik at sluttresultatet kunne vandret noe opp eller ned. Resultatene viser at man ved å la være å strupe for mye igjen på forbrenningsluften, faktisk får utslipp som ligger i underkant av 5 g/kg. Dette er godt under gjeldende krav og i tillegg godt nok i fht nye krav som foreligger i Ecodesign^{8, 9}, som er krav som stilles i Europa og som etter planen skal trå i kraft i 2022. Resultatene for kasseovnen er på igjen måte unike. Dette er en typisk trend for nesten alle typer vedovner. Typisk er at om man bare fyrer man ovnen hardt, opp til en viss grense selvfølgelig, nok vil man oppnå en reduksjon av alle typer utslipp, både partikler og uforbrente gasser. Overfyrer man derimot, vil utslippene øke igjen, noe som er ovnsmodellavhengig. Det hele handler om balansen mellom hvor mye brensel som omsettes i forhold til luftmengde, temperatur, oppholdstid og sammenblanding (av luft og brensel). Resultatene viser at hvis kasseovnen fyres slik at den gir en effekt på fra rundt mellom 5-6 kW (~1.5 kg/t) og opp til rundt 15 kW (~5 kg/t), så vil ovnen antagelig kunne overholde både dagens krav og krav i nær framtid. Skulle man fått ovnen godkjent for salg måtte luftreguleringssystemet blitt fysisk endret slik at brukerne ikke hadde hatt anledning til å strupe igjen lufta mer enn ned til rundt 5-6 kW. Fyring med kortere ved, f.eks. 30 cm kubber i stedet for 60 cm, ville og bidratt til bedre forbrenning og lavere utslipp.

⁸ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32015R1185>

⁹ <https://www.nve.no/energibruk-og-effektivisering/okodesign-og-energimerking-av-produkter/mer-om-okodesign-og-energimerking/>



Figur 8: Kasseovn, partikkelutslipp for alle forsøk inkl. veid utslipp (g/kg tørr), Utviklet varmeeffekt i kW er vist over hvert enkelt målepunkt.

Virkningsgrad og effekt

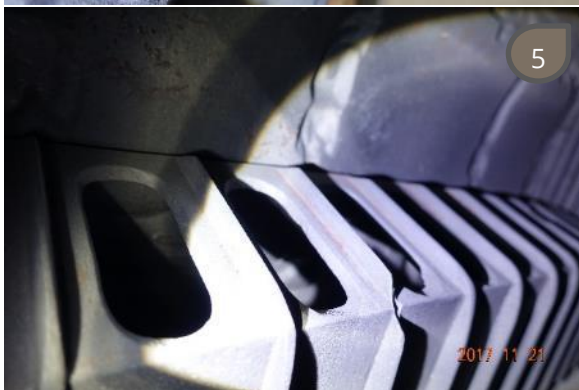
Virkningsgrad og effekt er beregnet iht. EN 1324010, som er den Europeiske testmetoden som gjelder i Europa per i dag. Virkningsgrad er hovedsakelig gitt av temperaturen på røykgassen som går ut i pipa. Jo lavere jo bedre. Det betyr at mer av varmen forblir i rommet. Resultatene for kasseovnen viser overraskende god virkningsgrad sammenlignet med både dagens ovner (mellom 75-85%) samt ovner produsert mellom 1940-1998 (65%). Ved å operere kasseovnen mellom 5-15 kW (~1.5-5 kg/t) vil man oppnå virkningsgrader på mellom 73% ved laveste effekt og rundt 64% ved høyeste effekt.

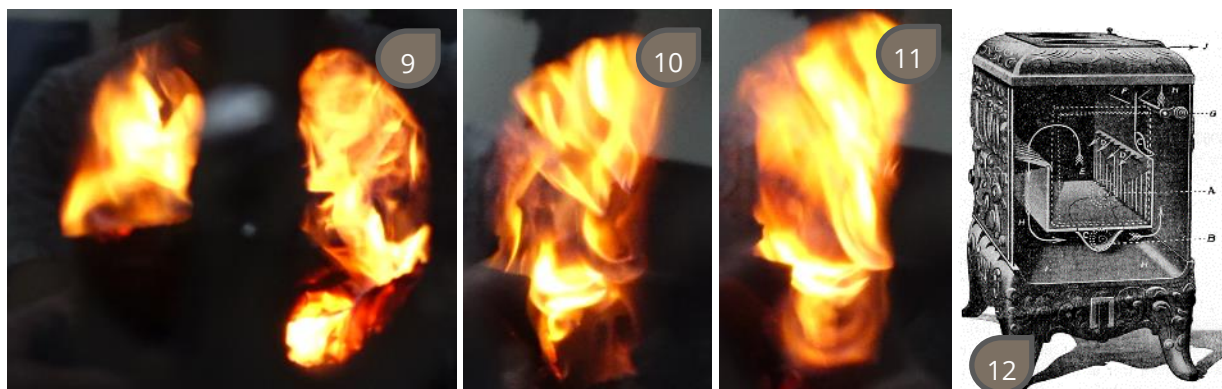
Forsøk nummer	Jøtul 1940				
	1	2	3	4	6
Brenselomsetning, kg/h	4.1	3.2	2.4	1.4	0.7
Innlagt masse testbrensel, kg	3.8	4.1	3.9	4.0	4.3
Fuktighet i brensel, % fuktig basis	18.5	19.2	19.3	19.3	17.6
Prøvningsperiode, min	46.0	62.0	80.0	141.0	247.0
CO innhold i tørr røykgass, vol %	0.40	0.70	0.50	0.70	1.40
CO ₂ innhold i tørr røykgass, vol %	8.7	8.8	7.1	4.9	6.0
Gjennomsnittelig O ₂ innhold i røykgass, vol %	12.00	11.75	13.00	15.50	13.77
Røykgasstemperatur, °C	388.0	378.0	272.0	168.0	112.0
Romtemperatur, °C	23.8	23.9	22.8	22.1	21.8
Virkningsgrad, %	65.9	65.9	70.9	72.9	78.8
Total varmeeffekt, kW	12.6	10.2	8.0	4.8	3.2

Figur 9: Kasseovn, beregning av virkningsgrad og effekt for alle forsøk

¹⁰ <https://www.standard.no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=137983>

2.2.3 Bjørnovn





Figur 10: Detaljer ved oppsett og testing av Bjørnovn.

Bildetekst Figur 10:

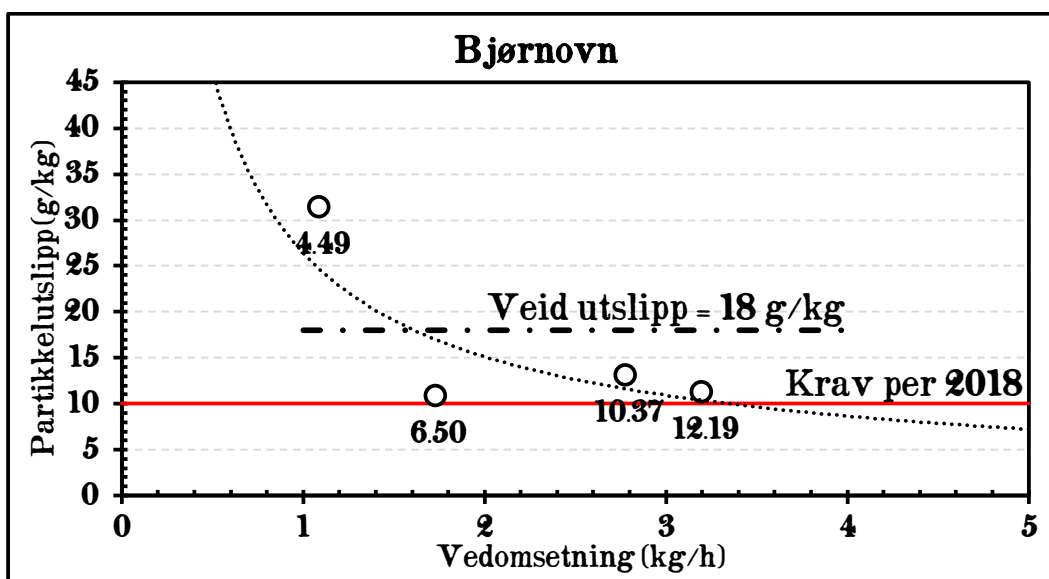
- 1 Innside brennkammer, hull for sekundærluft to rader på venstre side med opptenningsspjeld øverst, kanaler for røykgassvending på høyre side
- 2 Detalj fra topp med temperaturføler for overflatetemperatur
- 3 Detalj fra front med reguleringsventil for primærluft
- 4 Detalj fra front med reguleringsventil for sekundærluft
- 5 Kanaler for røykgassvending
- 6 Oppsatt på vekt
- 7 Oppsatt på vekt, bak venstre side
- 8 Opptenning av prøvningsbrensel
- 9 Under oppvarming
- 10 Flammebilde sett gjennom primærluftventil (glasskive)
- 11 Sekundærforbrenning, gassutbrenning over venstre vegg konsentrert rundt hull for sekundærluft, sett gjennom primærluftventil (glasskive)
- 12 Original bruksanvisning som illustrerer prinsippet for Bjørnovnen

MÅLERESULTATER

Partikkelutslipp

Resultatene for Bjørnovnen er vist i Figur 11 og Figur 12, hhv partikkelutslipp og virkningsgrad. I og med den påståtte funksjonalitet både når det gjelder sekundærforbrenning og røykgass sirkulering, hadde vi forventet at denne ovnen ville gi best resultat av alle de testede ovnene. Ovnen viste seg imidlertid å gi utslipp som lå i overkant av resultatene for de øvrige ovnene. På laveste vedomsetning ble det observert mye røyk og resultatene ble deretter, godt over grensen på 20 g/kg. Med høyere lufttilførsel synker utslippene, men ikke langt nok ned til at man ved høyere vedomsetning kommer under grensen på 10 g/kg. Veide utslipp ender på 18 g/kg. Ovnen ville ikke blitt godkjent for salg i Norge selv om man hadde lagt inn fysiske restriksjoner på spjeldet som regulerer luftmengden. Hovedårsaken ser ut til å være en ikke-optimal plassering av hull for sekundærluft. Disse er plassert i sideveggen som vist på bildet i Figur 10-1. Samtidig ligger kanalene som avgassene vendes ned i når opptenningsspjeldet lukkes, på motsatt vegg (se samme bilde). Det som da skjer når dette spjeldet er lukket er en kortslutning, dvs. gassene som var tenkt blandet

og brent ut med sekundærluften, går i stor grad rett over og ned i kanalene før de rekker å brenne ut. Dette er og et problem nye ovner sliter med. Hovedårsaken til utslipp er at man får slik kortslutning fra under hvelvplaten hvor gassene samles, opp og ut i pipa. Kunsten er å oppnå høy nok temperatur, oppholdstid og blanding før de brennbare gassene og partiklene slipper ut av brennkammeret. Resultatene for Bjørnovnen ligger imidlertid ikke så langt fra dagens krav. Hadde man benyttet f.eks. 30 cm ved i stedet for 60 cm, ville antagelig resultatene også for denne ovnen sett annerledes ut. I tillegg kommer dette med varierende resultater. Hadde man repetert/gjennomført flere tester og deretter valgt å beholde testene som klarte kravene og samtidig brukt kortere ved med minimal fuktighet, ville man antagelig klart å presse ovnen ned under 10 g/kg, slik at den hadde blitt sammenlignbar med resultatene for kasseovnen. Ved så å legge fysiske restriksjoner på luftspjeldet slik at ovnen kun kan opereres på mellom 5-15 kW (~1.3-4 kg/t), kunne man antagelig også fått denne godkjent etter dagen krav. Nye krav i nær framtid hadde den derimot, antagelig ikke klart.



Figur 11: Bjørnovn, partikkelutslipp for alle forsøk inkl. veid utslipp (g/kg_{tørr}), Utviklet varmeeffekt i kW er vist over hvert enkelt målepunkt.

Virkningsgrad og effekt

Bjørnovnen var utvilsomt den beste når det gjaldt virkningsgrad, noe som sikkert henger sammen med systemet for røykvinging. Man får mer at varmen ut i rommet før røyken går ut i pipa. På sitt beste gir den en virkningsgrad på hele 85%, bare så synd at den i dette punktet har problemer med god nok utbrenning og dermed slipper ut for mye partikler. I de nedre belastningsområdene gir den virkningsgrader mellom 78-81 %. Dette er helt på høyde med verdier oppgitt for moderne ovner. I og med sin størrelse er antagelig ikke denne ovnen laget for så lave effekter som det ble testet for her. Hvordan den oppfører seg fra 15 kW og oppover vil man ikke kunne få svar på uten å gjennomføre flere tester. Antagelig kunne den uten problemer kunne levere opp til 30 kW (i overkant av 8 kg/t) på det meste.

Forsøk nummer	Bjørneovn			
	2	3	4	5
Brenselomsetning, kg/h	28	17	3.1	11
Innlagt masse testbrensel, kg	3.7	3.5	3.5	3.5
Fuktighet i brensel, % fuktig basis	16.9	19.7	19.6	16.1
Prøvningsperiode, min	67.0	98.0	53.0	163.0
CO innhold i tørr røykgass, vol %	0.5	0.7	0.6	1.1
CO ₂ innhold i tørr røykgass, vol %	8.2	7.2	10.9	9.9
Gjennomsnittelig O ₂ innhold i røykgass, vol %	11.9	12.9	10.7	14.9
Røykgasstemperatur, °C	236.9	184.2	247.5	132.8
Romtemperatur, °C	23.6	22.5	23.5	22.7
Virkningsgrad, %	77.7	78.8	81.0	85.8
Total varmeeffekt, kW	10.4	6.5	12.2	4.5

Figur 12: Bjørneovn, beregning av virkningsgrad og effekt for alle forsøk

2.2.4 Sylinderovn





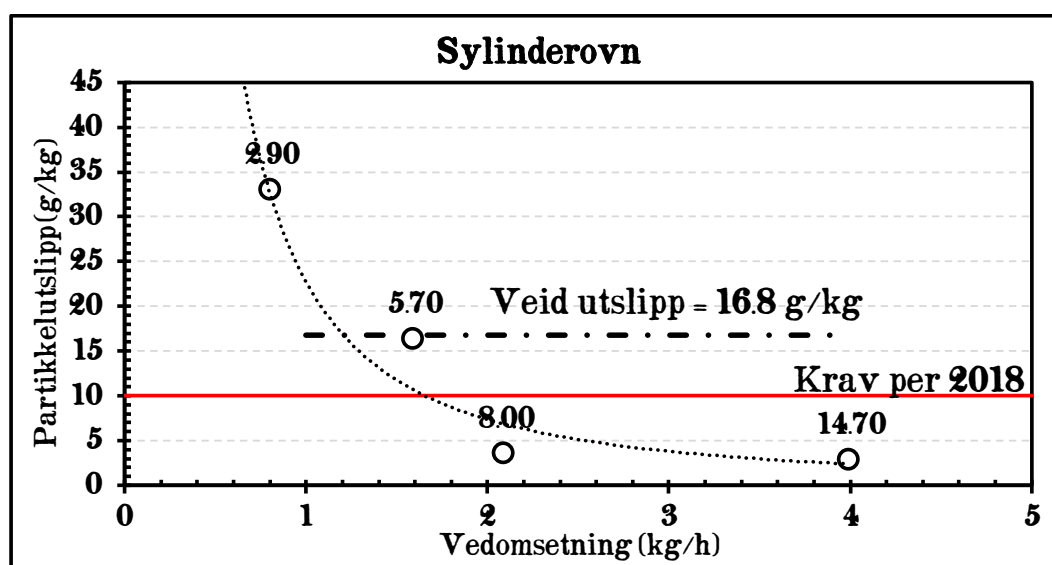
Figur 13: Detaljer ved oppsett og testing av sylindervovn

Bildetekst Figur 13 :

- 1 Nedenfra-og-opp
- 2 Ovenfra-og-ned
- 3 Oppsatt på vekt og instrumentert på målestand
- 4 Innsyn fra topp med ledeplater
- 5 Detalj fra topp
- 6 Innsyn oppover i brennkammer med synlige ledeplater
- 7 Sett bakfra høyre side med plassering av sensorer for måling av overflatetemperatur
- 8 Detalj, tilkoping til pipe
- 9 Detalj, plassering av sensor for måling av øvre overflatetemperatur
- 10 Innsyn i brennkammer
- 11 Innsyn fra topp øvre del av brennkammer etter to gangers bruk
- 12 Stående ved

Partikkelutslipp

Resultatene for sylinderovn er vist i Figur 14 og Figur 15, hhv som partikkelutslipp og virkningsgrad. På lavere last/vedomsetning, fra rundt 1.6 kg/t, gav denne ovnen høyest utslipp sammenlignet med kasse- og Bjørnovn. På høyere laster, fra 1.6 kg/t (~6 kW) og oppover, var utslippene faktisk ganske lave. På de to øverste lastene ville ovnen faktisk klart å overholde krav som vil komme i nær framtid, dog med den ulempe at man må fyre på rimelig høye effekter. Veide utslipp ender på 16.8 g/kg, i mellom veide utslipp for kasse og Bjørnovn. Observasjoner under testene viste tendenser til mye røyk på lavere last, noe som antagelig har med utformingen av brennkammeret og plassering av luftventil for sekundærluft å gjøre. Når veden blir stående i brennkammeret og luften tilføres såpass langt nede, vil man få tendenser til at mye av de brennbare gassene og partiklene ikke vil brenne ut før de når pipa. Man kan likevel se for seg at ovnen ville kunne bli godkjent iht. dagens og morgendagens krav forutsatt at man fysisk endret på luftventilene slik at brukerne ikke har anledning til på fyre på lav last. Fra 6 kW (~1.6 kg/t) og oppover ser ovnen ut til å brenne rent nok.



Figur 14: Sylinderovn, partikkelutslipp for alle forsøk inkl. veide utslipp (g/kg_{tørr}), Utviklet varmeeffekt i kW er vist over hvert enkelt målepunkt.

Virkningsgrad og effekt

Virkningsgraden for sylinderovn ligger et sted imellom kasse- og Bjørnovnen, på mellom 75-79 % avhengig av vedomsetning. Dette er og overraskende bra og henger sammen med hvordan røyken ledes gjennom ovnstoppen vha. de innmonterte vendeplatene som vist i Figur 13-4/11. Lenger røykvei gir bedre evne til å avgi varmen til rommet. Jo lavere temperatur før røyken når pipa, jo høyere virkningsgrad. Opereres ovnen mellom ~1.6-4 kg/t vil ovnen oppnå virkningsgrader på mellom 76-78 %.

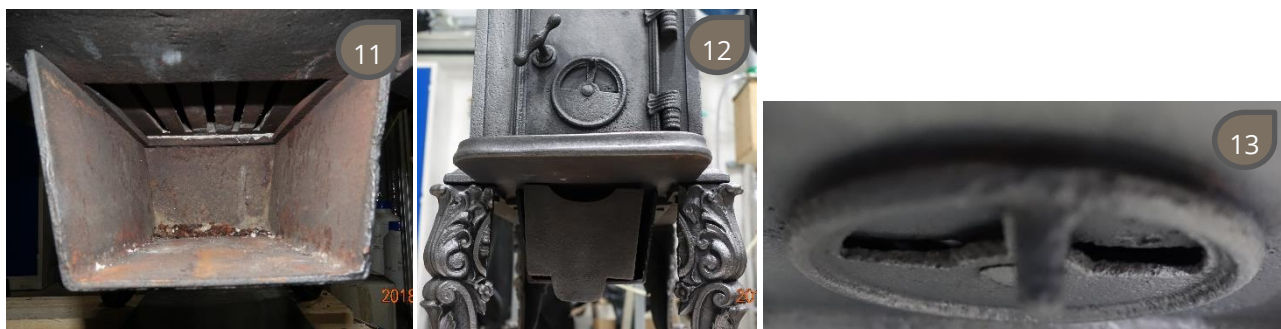
	Sylinderovn			
	2	3	4	5
Forsøk nummer				
Brenselomsetning, kg/h	4.0	1.6	0.8	2.1
Innlagt masse testbrensel, kg	2.5	2.4	2.2	2.0
Fuktighet i brensel, % fuktig basis	19.6	19.2	16.1	16.5
Prøvningsperiode, min	30.0	73.0	138.0	47.0
CO innhold i tørr røykgass, vol %	0.3	1.0	1.2	0.4
CO ₂ innhold i tørr røykgass, vol %	9.5	5.0	3.8	7.4
Gjennomsnittelig O ₂ innhold i røykgass, vol %	10.8	15.1	16.5	12.7
Røykgasstemperatur, °C	278.0	147.0	87.0	215.0
Romtemperatur, °C	24.2	24.1	23.3	24.9
Virkningsgrad, %	77.5	74.8	75.5	78.5
Total varmeeffekt, kW	14.7	5.7	2.9	8.0

Figur 15: Sylinderovn, beregning av virkningsgrad og effekt for alle forsøk

2.2.5 Etasjeovn







Figur 16: Detaljer ved oppsett og testing av etasjeovn

Bildetekst for Figur 16:

- 1 Detalj fra dør, lite presis regulering preget av mye tidligere gravrust
- 2 Innvendig brennkammer med murte vegger og røykutløp i bakkant
- 3 Detalj fra dør som viser åpning mellom dør og ramme
- 4 Produsent
- 5 Nedenfra-og-opp
- 6 Instrumentert og oppsatt på prøvestand
- 7 Oppsatt på prøvestand
- 8 Detalj som viser hvordan pipen måtte støtte opp på prøvestand
- 9 Topp, med sensor for måling av overflatetemperatur
- 10 Detaljer som viser åpning mellom askeskuff og gods
- 11 Holder for askeskuff med innsyn til bunnrist
- 12 Nedre frontparti
- 13 Åpning rundt luftventil og gods, lekkasje

MÅLERESULTATER

Partikkelutslipp

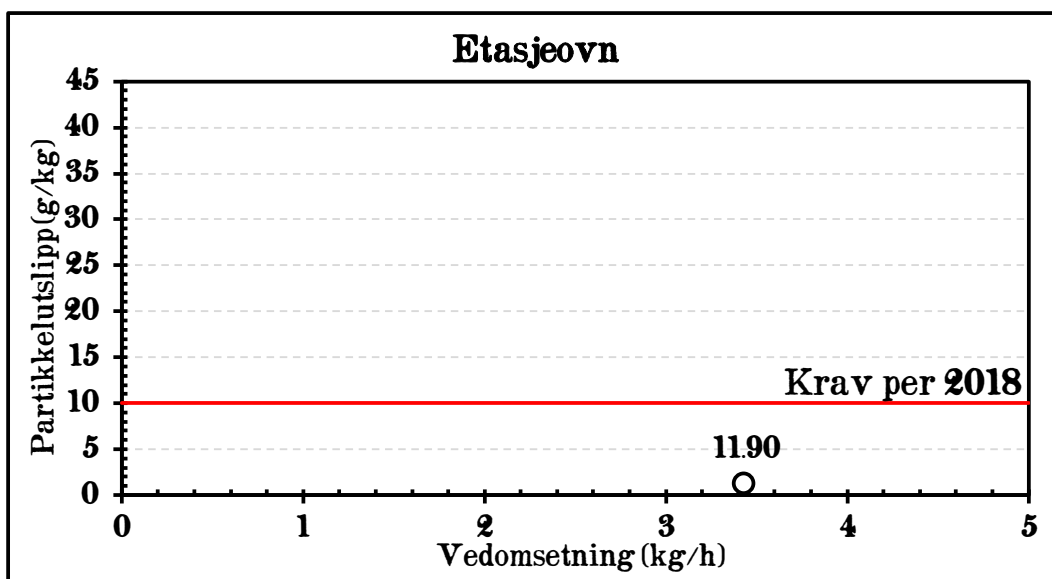
Resultatene for etasjeovnen er vist i Figur 17, Figur 14 og Figur 18, hhv som partikkelutslipp og virkningsgrad. Det spesielle med denne ovnen var at den høye lekkasjeraten, slik ovnen framstod som original, ikke gjorde det mulig å komme ned i last, dvs. vedomsetning. Figur 16-10/11/12 illustrerer store åpninger rundt askeskuff og gods, åpninger i størrelsesorden mer enn det dobbelte av det luftventilen hadde kapasitet til. SINTEF fikk opplyst av leverandøren av ovnene at dette er en typisk konstruksjonsdetalj ved de fleste etasjeovner. I tillegg bar luftventilen preg av rustangrep og var lite presis. Mellom døren og dørrammen var det tydelige spalter hvor luften slapp ukontrollert inn. Laveste oppnådde vedomsetning med alle luftventiler stengt var ~3.4 kg/t altså rundt 12 kW. Ved denne vedomsetningen oppnådde ovnen imidlertid det lavest registrerte partikkelutslippet av alle ovnene, på 1.28 g/kg. Til sammenligning slipper den mest avanserte ovnen på markedet i dag¹¹ ut cirka halvdel av dette igjen. Ellers er resultatet

¹¹ <https://www.rais.com/no/peisovner/rais-bionic-fire>

utvilsomt bra. Skulle ovnen hatt en sjanse til å bli godkjent måtte man først og fremst utbedret de nevnte lekkasje-punktene, sørget for å utføre fysiske endringer på luftventilen, og deretter gjenta godkjenningstestene for å finne rett ventilinnstilling som igjen ville medført stor nok luftmengde til å resulterer i veide utslipp på under 10 g/kg.

Virkningsgrad og effekt

Beregnet virkningsgrad i målepunktet var 72.5 % som tilsvarer en effekt på 11.9 kW. Den relativt lave virkningsgraden skyldes den uforholdsmessige høye temperaturen i skorsteinen på 322 grader. Kun i kasseovnen ble det registrert høyere røykgasstemperatur ved tilsvarende vedomsetning. I utgangspunktet skulle etasjeovnen ha størst potensiale for å kunne ta ut mest mulig varme av røykgassen før skorsteinen, grunnet sin konstruksjon med lang røykføring. Grunnet alle lekkasjene får ovnen derimot så høy vedomsetning og dermed så høy røykgasstemperatur ut i pipa, at dette i sum gir en lavere virkningsgrad enn både Bjørn- og sylinderoovnen. Bare kasseovnen har en lavere virkningsgrad på rundt samme vedomsetning.



Figur 17: Etsjeovn, partikkelutslipp for alle forsøk inkl. veid utslipp (g/kg_{tørr})

	Etsjeovn	
	1	2
Forsøk nummer		
Brenselomsetning, kg/h	3.4	
Innlagt masse testbrensel, kg	2.3	
Fuktighet i brensel, % fuktig basis	16.5	
Prøvningsperiode, min	34.0	
CO innhold i tørr røykgass, vol %	0.3	
CO ₂ innhold i tørr røykgass, vol %	8.8	
Gjennomsnittelig O ₂ innhold i røykgass, vol %	11.3	
Røykgasstemperatur, °C	322.0	
Romtemperatur, °C	24.2	24.9
Virkningsgrad, %	72.5	#####
Total varmeeffekt, kW	11.9	#####

Figur 18: Etsjeovn, beregning av virkningsgrad og effekt for alle forsøk

3 Sammendrag og konklusjon

Måleresultatene viser at de fire testede antikvariske ovnene hadde lavere utslipp og høyere virkningsgrad enn tidligere antatt. Veide partikkelutslipp for de testede ovnene ligger i grenselandet mellom 10-20 g/kg. Tabell 5 oppsummerer hovedresultatene for de fire testede representative antikvariske vedovnene.

Tabell 5: Hovedresultater for fire kategorier av antikvariske ovner (*Etasjeovn ikke iht. normal testprosedyre, kun ett målepunkt)

	Kasseovn	Bjørnovn	Sylinderovn	Etasjeovn*
Partikkelutslipp (g/kg)	15.10	18.00	16.80	1.28
CO innhold i tørr røykgass, vol %	0.93	0.79	0.83	0.33
CO ₂ innhold i tørr røykgass, vol %	5.72	8.32	5.67	8.79
O ₂ innhold i røykgass, vol %	14.39	13.33	14.53	11.34
Virkningsgrad (%)	74.79	80.86	76.13	72.50

Sammenligner man oppnådde resultat med sammenlignbare ovner testet i tidligere prosjekt⁴ ligger oppnådde resultat i dette prosjektet i samme størrelsesorden, selv når man tar i betraktning at nåværende resultater inkluderer testing på lavere vedomsetning/effekt iht. Norsk Standard 3058-59.

Gjennomsnittlige utslipp fra de testede antikvariske ovnene er vist i Tabell 6¹², og viser at utslipp fra disse ligger i underkant av utslipp fra kategorien gamle ovner (1940-1998) men likevel, et stykke over de beste moderne ovnene.

Tabell 6: Antikvariske ovner sammenlignet med best tilgjengelig data for ulike vedovns-kategorier¹²

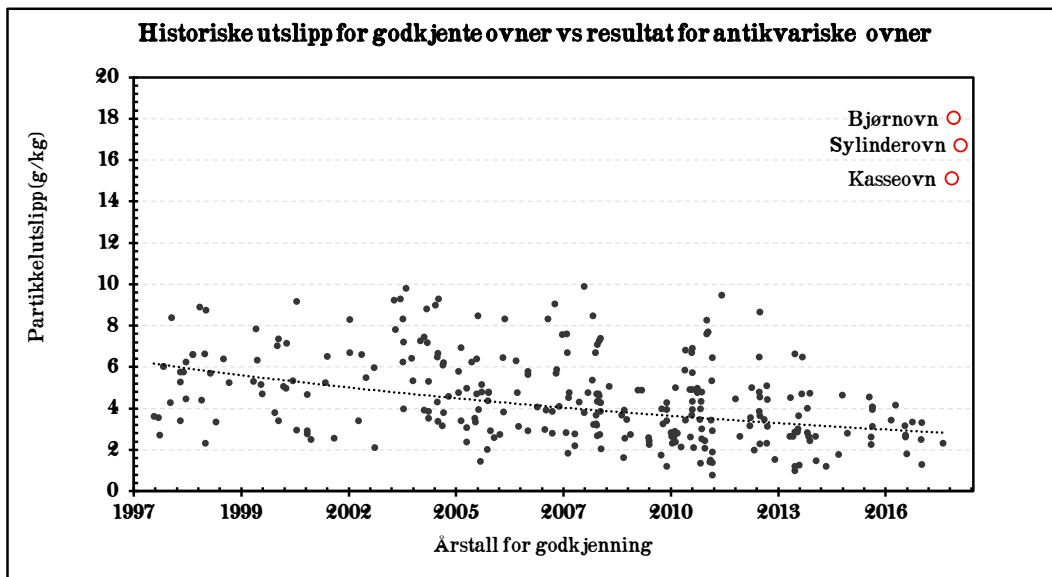
	PM _{2.5} g/kg
Eldre ovner (1940-1997)	20.86
Antikvariske ovner	16.60
Åpne ildsteder	16.44
Nyere ovner (1998-2016)	7.85
Nyere ovner (98-). Ettersyn og vedlikehold	7.07
Nyere ovner (98-). Bedret trekkregulering	5.50
Nyere ovner (98-). Bedret fyringsteknikk	3.93
Nyere ovner (98-) + Partikkelfilter	3.14
Teknologi per 2016	2.50
Framtidige ovner	1.00
Pelletsovner	0.60

Figur 19 viser veide partikkelutslipp fra alle ovner godkjent i Norge ved RISE Fire Research AS fra perioden 1998-2017¹³ sammen med veide partikkelutslipp for Bjørn-, sylindere-, og kasseovn. Sammenligningen gir et perspektiv på utvikling som har vært på ovner siden utslippskravene for partikkelutslipp ble innført i 1998 og hvordan de testede antikvariske ovnene står seg mot dagens ovner.

Noen betraktninger kan man dog gjøre seg; fra bakgrunnsdataene for Figur 19 kan vi f.eks. beregne at snittet av de veide partikkelutslippene fra de testede antikvariske ovnene ligger rundt 5.3 ganger høyere enn snittet av utslippene fra alle godkjente ovner i Norge de siste 5 årene (2012-2017), rundt 20 ganger høyere enn utslippet fra den beste ovnen godkjent i 2011 men derimot bare rundt 1.8 ganger høyere enn de 10 dårligste ovnene godkjent i hele perioden 1998-2017.

¹² Seljeskog M., G. Franziska, S. Øyvind, «Recommended Revisions of Norwegian Emission Factors for Wood Stoves». *Energy Procedia* 2017 ; Volum 105. s. 1022-1028

¹³ Skreiberg Ø., Seljeskog M., "Performance history and further improvement potential for wood stoves", *chemical engineering transactions*, vol. 65, 2018



Figur 19: Historiske partikkelutslipp for godkjente ovner i perioden 1997-2017 vs. resultater for antikvariske ovner

Alle de testete ovnstypene har potensiale til å kunne bli godkjent i forhold til dagens krav på 10 g/kg ved å gjøre mindre inngrep for å optimalisere forbrenningen. Ved å gjøre grep som f.eks. fysisk gjør det umulig å bruke ovnene under en bestemt vedomsetning/effekt, avgrensning av fysisk brennkammerdybde slik at de kun kan opereres med 30 cm vedlengde, utbedring av innvendig isolering etc. vil alle de testede modellene sannsynligvis klare veide partikkelutslipp under 10 g/kg. Målingene viser at ovnene er såpass gode i sin originale utforming at man her snakker om mindre inngrep, altså en tilpasning og at de opprinnelige designprinsippene langt på vei var gode forbrenningstekniske løsninger både hva gjaldt virkningsgrad og utslipp. Å gjennomføre dette i praksis er antagelig ikke rett fram, i og med alle de forskjellige modellene som eksisterer samt tilstanden til hver enkelt ovn. I praksis vil dette si at det er opp til brukerne å fyre ovnene sine slik at utslippene blir lavest mulig, dvs.:

- Kun bruke tørr ved
- Tenn fra toppen
- Ikke fyll opp brennkammeret, maks 50% av høyden, og gjerne benytte 30 cm istf. 60 cm kubber i de dypeste ovnene
- Ikke strup igjen på forbrenningsluften, fyr hardt med lengre tid mellom hvert ilegg istf. konstant lusefyring

Når det gjelder virkningsgrad ligger alle ovnene opp mot dagens standard, dvs. opp mot mellom 70-80 %. Dette er slett ikke verst til å være ovner designet for over hundre år siden. Dette viser at man også på denne tiden var opptatt av effektivitet og det og få mest mulig av varmen inn i huset. Fellesløsningen for de fleste antikvariske ovner for å oppnå høy virkningsgrad er å forlenge røykens oppholdstid i selve ovnskonstruksjonen.

Oppsummert kan man si:

«Ikke så god som en ny, men heller som en god gammel»



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no