

KINNITAN

Tõnu Pihu
Põlemisprotsesside professor
"21" august 2023

Enefit Power AS E280 Õlithase suitsugaaside raskmetallide ja peenosaeste mõõtmised

Reg nr 11-40/EI/1179-2



Tallinn 2023

Enefit Power AS E280 Õlithase suitsugaaside raskmetallide ja peenosakeste mõõtmised

Reg nr 11-40/EI/1179-2

Vastutav täitja

Tõnu Pihu

21.08.2023

Andmed töö täitja kohta

Töö täitja:

Firma nimi: Tallinna Tehnikaülikool, Energiatehnoloogia
instituut
Registrikood: 74000323
KMKR: EE100224841
Aadress: Ehitajate tee 5, Tallinn 19086
Vastutav täitja: Tõnu Pihu,
Telefon: +372 620 3911,
e-mail: tonu.pihu@taltech.ee

*Tallinna Tehnikaülikooli Energiatehnoloogia instituut (EI) on EAK poolt akrediteeritud
katselabor L028*

*Märkus: Aruannet ei tohi paljundada ega esitada mittetäielikuna ilma inspekteerimisorgani
loata*

Heitmete mõõtmise protokoll 2305/35

Kuupäev	29. märts 2023
Saasteallika valdaja nimi ja aadress	Enefit Power AS, Auvere küla, Narva-Jõesuu linn, 40107 Ida-Virumaa
Saasteallika asukoht	Ida-Virumaa, Auvere küla, Õlitööstus Enefit280 (saasteallikas 280-1)
Mõõtmiste läbiviija nimi ja aadress	Tallinna Tehnikaülikool, Energiatehnoloogia instituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086
Mõõtmiste eest vastutava isiku nimi ja kontaktandmed	Tõnu Pihu, professor, +372 620 3911, +372 516 9011

Proovivõtu kirjeldus

Enefit Power AS E280 Õlithase gaasiliste heitmete mõõtmine toimus korstnas (saasteallikas 280-1) kasutades FT-IR spektromeetrit Gasmet DX 4000. Gaasiproov juhiti soojendatava trassi kaudu gaasianalüsaatorisse. Gaasianalüüsi teostati kõrgusmargil +59 m (**Joonis 1**).

Tahkete osakeste kontsentratsiooni mõõtmine suitsugaasides toimus isokineetilise meetodiga kasutades kaskaadimpaktorit Johnas II. Tahkete osakeste (lendtuha) proovi kogumine suitsugaasidest raskmetallide määramiseks toimus isokineetilise meetodiga kasutades impaktorit PM-sum Paul Gothe ja tolmuposti Gas Sampler Paul Gothe. Raskmetallide määramine suitsugaasist toimus summaarse peenosakeste püüdmisega kvartsilfiltritele ja samaaegse gaasi absorbeerimisega lahustesse vastavalt standarditele EVS-EN 14385:2004 (Välisõhu kvaliteet. Paiksete saasteallikate heitkogused. Hg, As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl ja V kogu heite määramine) ja EVS-EN 15852:2010 (Välisõhu kvaliteet. Standardmeetod summaarse gaasilise elavhõbeda määramiseks). Filtritele püütud tahked osakesed lahustati HNO₃-s ja saadud lahustes ning lahustesse absorbeeritud raskmetallide kontsentratsioonid määrati kasutades ICP-MS analüüsi. Tahkete mõõtmised teostati samuti kõrgusmargil +59 m (**Joonis 2**).



Joonis 1. Gaasianalüüsi mõõtekoht: vasakul – gaasianalüsaatori mõõtepea, paremal – gaasianalüsaator



Joonis 2. Raskmetallide proovide võtmine: vasakul – tahke proovi kogumine filtritele ja gaasi absorbeerimine, paremal – gaasi absorbeerimine lahustesse

Mõõtmiste läbiviimisel kasutatud meetodikad

Gaasiliste heitmete mõõtmine teostati labori tööjuhendi EI_1-17 „Juhend gaasiliste heitmete kontsentratsiooni määramiseks suitsugaasides alusel“, FT-IR spektromeetri Gasmeter DX 4000 abil. Spektromeeter registreerib pidevat neeldumisspektrit lainepikkustel $900\text{--}4200\text{ cm}^{-1}$ ja kasutab andmete töötlemisel Fourier' teisendust. Seadmega saab mõõta (väheste eranditega) kõiki ühendeid, mis temperatuurivahemikus $40\text{--}180\text{ °C}$ on gaasidena või aurudena. Ei saa mõõta kaheaatomilisi gaase (O_2 , N_2 , jne.), kuna neil gaasidel ei ole IR piirkonnas neeldumisspektreid.

Hapniku mõõtmised tehakse spektromeetrisse integreeritud tsirkooniumoksiid hapnikuanduriga.

Suitsugaasi temperatuuri mõõtmiseks kasutati K-tüüpi termopaari, mille ots sisestati korstnasse läbi korstnas asuva mõõteava. Temperatuuri näidud registreeriti andmelugeriga TC-08 (Pico Technology).

Suitsugaasi niiskust mõõdeti FT-IR spektromeetriga Gasmeter DX 4000 ja ka referentsmeetodiga (gravimeetriliselt).

Gaaside kiirust/mahtkulu mõõdeti rõhulangu kaudu, kasutati Pitot' toru ja digitaalset diferentsiaalmanomeetrit Extech HD350 (Extech Instruments) – mõõtepiirid $2,5\text{--}70\text{ m/s}$.

Tolmusisaldus määrati vastavalt standarditele EVS-EN 13284-1:2017, EVS-ISO 10780:2006 ja juhendile VDI 2066 part 10 seadmetega: kaskaadimpaktor Johnas II ja tolmupest Gas Sampler Paul Gothe – gravimeetrilisel meetodil.

Raskmetallid määrati vastavalt standarditele:

1. EVS-EN 14385:2004 (Välisõhu kvaliteet. Paiksete saasteallikate heitkogused. Hg, As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl ja V kogu heite määramine).
2. EVS-EN 15852:2010 (Välisõhu kvaliteet. Standardmeetod summaarse gaasilise elavhõbeda määramiseks).

Raskmetallide sisaldus võetud proovidest määrati laboris: EUROFINS Umwelt Ost GmbH kasutades akrediteeritud meetodeid. Akrediteering: Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14081-01-00.

Tulemused

E280 Õlithase koormused (kütusekasutus) mõõtmiste ajal on esitatud **Tabel 1**.
Suitsugaaside temperatuurid ja kiirused mõõtmiste ajal on esitatud **Tabel 2**.

Mõõdetud tahked heitmed E280 korstnas on esitatud **Tabel 5** ja **Tabel 4**.

Gaasiliste heitmete mõõtetulemused on koondatud **Tabel 5**.

Keskmistatud raskmetallide sisaldused gaasis ja tahkes faasis kokku on esitatud **Tabel 6**.

Tabel 1. E280 Õlithase kütusekasutus mõõtmiste ajal

Kuupäev	Kellaaeg	Põlevkivi, t/h *
29.03.2023	10:28-14:29	266

*Kütusekasutus on esitatud tellija poolt, esitatud tunnikeskiste kütusekulude alusel

Tabel 2. Suitsugaasi temperatuur, kiirus ja korstna läbimõõt

	29.03.2023
Gaasi temperatuur, °C	156,5
Kiirus, m/s	14,4
Korstna läbimõõt, mm	3016*

*Korstna läbimõõt on antud tellija poolt

Tabel 3. Mõõdetud tahked heitmed suitsugaasis (6% O₂)

	Katse 2		Katse 4		Katse 6		Keskmine	
Mõõdetud suurus	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 6% O ₂ , kuiv gaas	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 6% O ₂ , kuiv gaas	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 6% O ₂ , kuiv gaas	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 6% O ₂ , kuiv gaas
PM-sum	93,8	105,1	101,7	114,8	110,3	120,8	101,9	113,6
PM10	91,9	103,6	99,0	111,8	105,4	115,4	98,8	110,1
PM2,5	56,6	63,5	61,6	69,5	63,2	69,2	60,5	67,4

Tabel 4. Mõõdetud tahked heitmed suitsugaasis (3% O₂)

	Katse 2		Katse 4		Katse 6		Keskmine	
Mõõdetud suurus	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 3% O ₂ , kuiv gaas	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 3% O ₂ , kuiv gaas	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 3% O ₂ , kuiv gaas	mg/Nm ³ , märg gaas	mg/Nm ³ , 3% O ₂ , kuiv gaas
PM-sum	93,8	126,3	101,7	137,9	110,3	145,1	101,9	136,5
PM10	91,9	123,8	99,0	134,3	105,4	138,6	98,8	132,2
PM2,5	56,6	76,3	61,6	83,5	63,2	83,1	60,5	81,0

Tabel 5. Mõõdetud gaasiliste heitmete ja hetkeliste heitkoguste tabel (6% ja 3% O₂)

Mõõdetud suurus	mg/Nm ³ , kuivad gaasid	mg/Nm ³ , 6% O ₂ , kuivad gaasid	mg/Nm ³ , 3% O ₂ , kuivad gaasid	g/s, kuivad gaasid
CO	560,37	493,81	593,23	28,580
N ₂ O	21,95	19,53	23,47	1,131
NO _x	247,17	219,16	263,29	12,684
SO ₂	<MP	<MP	<MP	<MP
NH ₃	<MP	<MP	<MP	<MP
HCl	1,77	1,57	1,89	0,091
HF	0,02	0,02	0,02	0,001
CH ₄	0,24	0,22	0,26	0,013
Ethane C ₂ H ₆	<MP	<MP	<MP	<MP
Ethylene C ₂ H ₄	1,14	1,01	1,22	0,059
Propane C ₃ H ₈	<MP	<MP	<MP	<MP
Formaldehyde CHOH	0,74	0,66	0,79	0,038
m-Xylene	33,78	29,90	35,93	1,731
o-Xylene	<MP	<MP	<MP	<MP
p-Xylene	7,72	6,85	8,23	0,396
Benzene C ₆ H ₆	1,41	1,24	1,49	0,072
Toluene C ₇ H ₈	0,97	0,84	1,01	0,049
Carbonyl sulfide COS	<MP	<MP	<MP	<MP
Phenol C ₆ H ₆ O	0,12	0,10	0,12	0,006
Ethyl benzene C ₈ H ₁₀	<MP	<MP	<MP	<MP
Acetone C ₃ H ₆ O	6,30	5,56	6,68	0,322
Dimethyl disulfide C ₂ H ₆ S ₂	24,82	21,93	26,35	1,269
Dimethyl sulfide C ₂ H ₆ S	0,06	0,05	0,06	0,003
Methyl mercaptan CH ₄ S	5,17	4,56	5,48	0,264
H ₂ S	1,97	1,74	2,14	0,101
VOC	52,77	46,71	56,12	2,704
TOC	52,95	46,88	56,32	2,713
H ₂ O, vol %	20,6			
O ₂ , vol % (kuiv)	4,0			
CO ₂ , vol % (kuiv)	15,3			

Tabel 6. Raskmetallide keskmistatud sisaldused gaasis ja tahkes faasis (6% ja 3% O₂)

Raskmetallid gaasilises ja tahkes faasis (summaarsed)					
Parameeter	µg/Nm³	µg/Nm³ (6% O₂)	µg/Nm³ (3% O₂)	Hetkeline heide, µg/s	Hetkeline heide, g/s
V	7,29	6,43	7,72	371,99	0,000372
Cr	9,77	8,61	10,35	498,53	0,000499
Mn	23,86	21,04	25,27	1217,50	0,001217
Co*	0,28	0,25	0,30	14,29	0,000014
Ni*	0,45	0,40	0,48	22,96	0,000023
Cu	8,64	7,62	9,15	440,87	0,000441
Zn	33,40	29,45	35,38	1704,30	0,001704
As	4,40	3,88	4,66	224,52	0,000225
Cd	0,31	0,27	0,33	15,82	0,000016
Sb*	0,01	0,01	0,01	0,51	0,000001
Tl*	0,01	0,01	0,01	0,51	0,000001
Pb	6,98	6,15	7,39	356,17	0,000356
Hg	0,86	0,76	0,91	43,88	0,000044

*RM sisaldus gaasifaasis

LISA 1. Mõõtmistel kasutatud metoodikad ja mõõteriistad

1. EPA test method 320 – Measurement of Vapor Phase Organic and Inorganic Emissions by Extractive Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy.
2. SFS 3869, Air quality. Determination of gaseous emissions.
3. EVS-EN 13284-1:2017, Stationary source emissions – Determination of low range mass concentration of dust – Part 1: Manual gravimetric method.
4. EVS EN 60584-1:2013, Thermocouples – Part 1, 2, 3
5. EVS EN 14790:2017, Stationary source emissions – Determination of the water vapour in ducts.
6. EVS ISO 10780:2006, Stationary source emissions – Measurement of velocity and volume – Flow rate of gas in gas streams in ducts.
7. EVS-EN 15259:2007, Air quality – Measurement of stationary source emissions – Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report.
8. EVS-EN 12953-11:2003, Shell boilers – Part 11: Acceptance tests.

Põlemisgaaside koostis

- **Gasmet DX-4000, TEMET Ltd., S/N: 163606** FT-IR spektromeeter

Mõõdetavad komponendid ja mõõtepiirkond

H ₂ O	0–30	%	C ₂ H ₆	0–100	ppm
CO ₂	0–25	%	C ₃ H ₈	0–100	ppm
NO	0–200	ppm	C ₂ H ₄	0–100	ppm
NO ₂	0–2000	ppm	C ₆ H ₆	0–200	ppm
N ₂ O	0–500	ppm	C ₇ H ₈	0–200	ppm
SO ₂	0–2000	ppm	C ₆ H ₁₄	0–50	ppm
CO	0–5000	ppm	<i>o</i> -C ₈ H ₁₀	0–200	ppm
COS	0–50	ppm	<i>m</i> -C ₈ H ₁₀	0–200	ppm
HCl	0–100	ppm	<i>p</i> -C ₈ H ₁₀	0–200	ppm
NH ₃	0–1000	ppm	CH ₂ O	0–50	ppm
HF	0–50	ppm	C ₆ H ₅ OH	0–50	ppm
CH ₄	0–300	ppm	O ₂	0–25	%

Temperatuur

- **K-tüüpi** termopaarid, 0–1200 °C
- **TES 1312A**, multimeeter, Tes Electrical Electronic Corp
- **AGILENT U1242B**, multimeeter/dataloger

Gaaside kiirus

- * **Extech HD350 (Extech Instruments)**, digitaalne mikromanomeeter koos Pitot' või Prandtl torudega,
Rõhk - ± 1 Pa, kiirus - $\pm 0,1$ m/s

Tahkete osakeste määramine

- **Paul Gothe GmbH**, kaskaadimpaktor, manuaalne isokineetisel proovivõtul põhinev mõõtesüsteem: PM-sum, PM10, PM2,5

MUNKTELL Microfibre MK 360 tasapinnalised kvartskiust filtrid

Laboratoorsed kaalud

- Laboratoorne kaal **Sartorius ENTRIS II, BCE8201i-1S**,
 $m_{\max}=8000$ g/0,1g
- Kaal-niiskusanalüsaator **Precisa XM 60**, $m_{\max}=120$ g/0,01 mg

Kalibreerimisgaasid, AS Elme Messer ja AS Linde

Gaas 1	CO ₂	15,2%		$\pm 2\%$ rel
	O ₂	4,0%		$\pm 2\%$ rel
	N ₂	rest		
Gaas 2	SO ₂	552	ppm	$\pm 2\%$ rel
	CO	74,8	ppm	$\pm 2\%$ rel
	NO	179	ppm	$\pm 2\%$ rel
	N ₂	rest		
Gaas 3	SO ₂	60,6	ppm	$\pm 2\%$ rel
	CO	490	ppm	$\pm 2\%$ rel
	NO	69,5	ppm	$\pm 2\%$ rel
	NO _x	69,6	ppm	$\pm 2\%$ rel
	N ₂	rest		
Gaas 4 (FT-IR taustaspekter)	N ₂	99,999%		

Tabel L1. Andmed kasutatud mõõteriistade ja seadmete kohta

Andmed kasutatud mõõteriistade ja seadmete kohta					
Nimetus	Tüüp	Valmistaja	Väljalaskeaasta / seerianumber	Mõõdetavad parameetrid, mõõtepiirkond	Andmed kalibreerimise kohta (teostaja, aeg, viis, vahendid)
Fourier' teisendusega infrapunaspektromeeter	Gasmet DX-4000	Gasmet Technologies Oy	2017/163606	Põlemisgaaside koostis	* Veespektrid uuendatud 25.01.2023, Energiatehnoloogia inst. labor, Gasmet Calibrator (PV004984)
Mikromanomeeter	DP-Calc	TSI Inc.	02050511	Diferentsiaalne rõhk, 0 – 500 Pa	AS Metrosert, kalibreerimistunnistus ATLP-21/0694, kalibreeritud 01.07.2021
Digitaalne temperatuurimõõtja koos etalontermomeetriga**	Fluke HS 1529 Chub-E4	Fluke Calibration	PV003846, termopaar 4	Temperatuur, 0 – 250 °C***	AS Metrosert, kalibreerimistunnistus ATLT-21/0295, kalibreeritud 19.03.2021

* Fourier' teisendusega infrapunaspektromeeter ei ole seade, mida oleks võimalik taadelda/kalibreerida. Küll aga teostatakse seadmega regulaarselt kontrollmõõtmiseid kalibreerimisgaasidega ning igal mõõtepäeval enne mõõtmiste alustamist uuendatakse seadme taustaspektrit, et suurendada mõõtetulemuste usaldusväärsust.

** Temperatuuri mõõtmiseks kasutatavaid digitaalseid sekundaarmõõteriistu koos termopaaridega kontrollitakse korra aastas etalon mõõtevahendi vastu.

*** Temperatuuril 0 °C ja 100 °C teostatakse kontrollmõõtmised/kaliibrimine vastavalt jää-vee segus ja keevas vees.

Mõõtmistel osalesid:

1. Tõnu Pihu, professor, töögrupi juht, mõõtmiste eest vastutaja
2. Oliver Järvik, vanemteadur
3. Janek Reinik, teadur

Katsetulemused kehtivad ainult katsetatud objektide kohta.

Katseprotokolli osadena paljundamine on keelatud.

Protokolli koostas: professor Tõnu Pihu /allkirjastatud digitaalselt/

"21" august 2023. a.