



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joonas Jägerroos

Maakaasun alueellisen ylimittauksen työohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

27.4.2019

Tekijä Otsikko	Joonas Jägerroos Maakaasun alueellisen ylimittauksen työohje
Sivumäärä Aika	39 sivua + 3 liitettä 27.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	–
Ohjaajat	Asiakkuuspäällikkö Daniel Pykälä-aho Lehtori Tomi Hämäläinen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Gasum Tekniikka Oy:lle maakaasun alueellisen ylimittauksen työohjeeksi. Alueellinen ylimittaus tehdään kerran vuodessa. Alueellinen ylimittaus suoritetaan kesäöisin, jolloin kaasun kulutus on vähäistä. Ylimittauksessa varmistetaan Helsingin alueen kaasun jakeluverkon hyvä kunto. Työssä tutustutaan myös maakaasun ja biokaasun ominaisuuksiin, biokaasun tuotantoon ja maakaasuverkon rakenteeseen.</p> <p>Maakaasun ominaisuuksissa tutustutaan maakaasun lämpöarvoon, tiheyteen ja palamiiseen, savukaasuihin sekä lämmönsiirtoon. Biokaasun osiossa tutustutaan biokaasun eri tuotantomenetelmiin ja sen jalostukseen. Biokaasun jalostuksesta käydään läpi yleisimmät jalostusmenetelmät. Biokaasun jalostus on tärkeä vaihe tehtäessä raakabiokaasusta liikennekäyttöön tarkoitettua biokaasua, jota voidaan myös syöttää maakaasuverkkoon.</p> <p>Maakaasuputkiston materiaaleihin ja Helsingin maakaasuverkon rakenteeseen tutustutaan lyhyesti.</p> <p>Alueellisen ylimittauksen työohje on tehty johdonmukaiseksi, ja sitä seuraamalla alueellisesta ylimittauksesta pystyy suoriutumaan. Myös dokumentointi on otettu huomioon tässä insinööri työssä, koska kokonaisuuden kannalta on hyvä tietää, mitä mitatuilla tuloksilla tehdään.</p> <p>Liitteenä on maakaasuputkiston jakeluputkiston kunnossapito-ohjelma, käyttöohjeet Sallattu -mittauslaitteelle, sekä Sewerin EX-TEC SR5 -vuotoilmaisimelle.</p>	
Avainsanat	työohje, maakaasu, biokaasu

Author Title	Joonas Jägerroos Work instructions for natural gas leakage survey
Number of Pages Date	39 pages + 3 appendices 27 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental technology
Professional Major	–
Instructors	Daniel Pykälä-aho, Customer Relations Manager Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer
<p>This thesis was carried out for Gasum Tekniikka Oy. The aim was to provide work instructions for natural gas leakage survey, which is done once a year in summer when the gas consumption is low. The survey will ensure the good condition of the gas distribution network in the Helsinki area. The thesis also introduces the properties of natural gas and biogas, the production of biogas and the structure of the natural gas network.</p> <p>The properties of natural gas that are addressed in the thesis include calorific value, density and combustion of natural gas, flue gases and heat transfer. The Biogas section covers the different production methods of biogas and the processing of biogas. The most common methods of biogas refining are also presented. Biogas refining is an important step of making raw biogas for use in transportation which can also be fed into the natural gas network.</p> <p>The natural gas pipeline and the structure of the natural gas grid in Helsinki are studied superficially.</p> <p>The work instructions for the leakage survey have been made consistent and following them it is possible to conduct a leakage survey successfully. Documentation has also been considered in this thesis because it is good to know what is done with the measured results.</p> <p>In the appendices you can find a maintenance program for the distribution pipes of the natural gas pipeline, instructions for the Salattu and for the Sewerin EX-TEC SR5 leak detector.</p>	
Keywords	work instructions, natural gas, biogas

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maakaasusta yleisesti	1
2.1	Maakaasun ominaisuudet	1
2.1.1	Lämpöarvo	4
2.1.2	Tiheys ja palaminen	5
2.1.3	Maakaasun savukaasut	8
2.1.4	Lämmönsiirto	9
2.2	Biokaasu	9
2.3	Biokaasun tuotanto	10
2.3.1	Tuotanto biokaasulaitoksella	11
2.3.2	Tuotanto maatilalla	12
2.3.3	Tuotanto kaatopaikalla	13
2.4	Biokaasun jalostus	15
2.4.1	Fysikaalinen adsorptio aktiivihilleen	15
2.4.2	Fysikaalinen adsorptio vesipesulla	16
2.4.3	Fysikaalinen adsorptio kemikaalipesulla	17
2.4.4	Kemiallinen adsorptio amiinipesulla	17
2.4.5	Kalvoerottelu	18
2.4.6	Kryojalostus	18
2.5	LNG	19
2.6	CNG	20
2.7	LBG	20
3	Maakaasuputkisto	20
3.1	Putkiston materiaalit	21
3.2	Maakaasuverkon rakenne Helsingissä	23
4	Salattu	26
4.1	Salattu	26

4.2	Salattu	26
4.3	Salattu	26
4.4	Salattu	26
4.5	Salattu	26
5	Yhteenveto	26
	Lähteet	27
	Liitteet	
	Liite 1. Liite vain työn tilaajan käyttöön	
	Liite 2. Liite vain työn tilaajan käyttöön	
	Liite 3. Sewerin EX-TEC SR5 -käyttöohje	

Lyhenteet

bar	Baari. Paineen yksikkö. 1 bar = 100 000 Pascalia.
GWh	Gigawattitunti. Energian yksikkö. 1 GW = 10 ⁹ wattia.
kWh	Kilowattitunti. Energian yksikkö.
km ³	Kuutiokilometri. Tilavuuden yksikkö. 1 km ³ = 1 000 000 000 m ³
LC ₅₀	Lethal Concentration 50 %. Kaasumaisen aineen myrkyllisyyden mittayksikkö.
LD ₅₀	Lethal Dose 50 %. Aineen myrkyllisyyden mittayksikkö.
LNG	Liquefied Natural Gas. Nesteytetty maakaasu.
mg/m ³	Milligrammaa kuutiometrissä. Tiheyden yksikkö.
MJ	Megajoule. Työn yksikkö (J). 1 MJ = 10 ⁶ J.
MJ/m ³ n	Megajoulea per normaalikuutiometri. Työn yksikkö. m ³ n = normaalikuutiometri 1:ssä baarissa ja 25 °C:ssa.
m ³ /km	Kuutiometriä kilometrillä. Tilavuuden yksikkö.
m ³ /h	Kuutiometriä tunnissa. Tilavuusvirran yksikkö.
P _{abs}	Absoluuttinen paine. Paineen yksikkö.
ppm	Parts per million. Miljoonasosa. 10 000 ppm = 1 %.
p-%	Painoprosentti.
TWh/a	a = annual. Energian yksikkö. Terawattituntia vuodessa.

TWh	Terawattitunti. Energian yksikkö. $1 \text{ TW} = 10^{12}$ wattia.
OA	Orgaaninen aines. Kasvien ja eläinperäisen aineen osia ja hajoamistuotteita.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ on tehty Gasum Tekniikka Oy:lle ja se käsittelee maakaasua ja biokaasua yleisesti ja toimii työohjeena pääkaupunkiseudun kaasuverkon alueelliselle ylimittaukselle, joka tehdään kerran kesässä putkien kunnan varmistamiseksi. Työohjeen ajatuksena on olla mahdollisimman helppolukuinen ja johdonmukainen. Päämäärä on, että luettuaan tämän insinööri työn lukija ymmärtää maakaasun ja biokaasun ominaisuuksia, mistä biokaasua tuotetaan, maakaasuverkoston rakenteen ja osaa suorittaa alueellisen ylimittauksen. Biokaasuun ja sen yleisiin jalostusmenetelmiin tutustutaan, koska se voi olla vartenotettava vaihtoehto liikenteen polttoaineena ja energian tuotannossa.

Alueelliseen ylimittaukseen suorittamiseen ei ole ollut olemassa varsinaista työohjetta. Ylimittauksesta on mainittu jakeluputkiston kunnossapito-ohjelmassa, mutta kyseisessä dokumentissa ei käy ilmi itse mittauksen käytännön suorittamista. Salattu-ohjelma, mitauslaitteen ja vuotoilmaisimen käyttöohjeet ovat insinööri työn liitteissä.

2 Maakaasusta yleisesti

Maakaasu on yleisesti kaasumaisessa olomuodossa, mutta sitä voidaan paineistaa nestemäiseksi (Liquified natural gas). Maakaasua saadaan luonnollisista lähteistä ilman jalostusta tai öljyntuotannon sivuvirtana. Maakaasu erotetaan öljystä menetelmällä, jota kutsutaan krakkaukseksi. Krakkauksessa pilkotaan orgaaniset yhdisteet yksinkertaisemmiksi kemiallisella prosessilla. Suomessa maakaasua käytetään enimmäkseen polttoaineena sekä myös vedyn tuotantoon kemian teollisuuden raaka-aineena ja vedyn jatko-prosessoinnissa. Suomessa maakaasu on ollut käytössä vuodesta 1974 asti. [1; 2, s. 186.]

2.1 Maakaasun ominaisuudet

Suomeen tuotava kaasu hyvin puhdasta, koska se on pääasiassa 98-prosenttista metaania (CH₄) ja maakaasun rikki pitoisuus on alle 1 mg/m³. Näin poltossa ei synny rikin

oksideja eikä rikkihappoa. Maakaasua voidaan pitää rikittömänä, koska hiilivetytuotteita pidetään rikittömänä, jos niiden rikkipitoisuus on enintään 100 mg/m^3 . Maakaasua tuodaan Suomeen Länsi-Siperian kaasukentiltä. Koska metaanipitoisuus on hyvin korkea, se sopii mainiosti polttoon. Suomessa ei tuoteta maakaasua, eikä Suomessa ole omia maakaasuvarantoja. Venäjällä maakaasua tuottaa Gazprom. Gazprom on maailman suurin maakaasun tuottaja ja Venäjän suurin yritys. [3.] Venäjällä on myös maailman toiseksi suurimmat maakaasuvarannot. Taulukossa 1 on viisi suurinta maakaasukenttää.

Taulukko 1. Suurimmat maakaasukentät [4.]

	Kaasukenttä (löydetty v.)	Maa	Kaasuvarannot (km^3)
1.	South Pars/North Dome (1971)	Iran ja Qatar	35 000
2.	Urengoi (1966)	Venäjä	6300
3.	Jamburg (1969)	Venäjä	3900
4.	Hassi R'Mel (1956)	Algeria	3500
5.	Shtokman (1988)	Venäjä	3100

Kiehumispiste metaanille on $-161,5 \text{ }^\circ\text{C}$, kriittinen paine P_{abs} on noin 46 bar. Jos maakaasua jäähdytetään alle kiehumispisteen, niin se nesteytyy (LNG). [5, s. 8.] Taulukossa 2 on maakaasun yleiset ominaisuudet.

Taulukko 2. Maakaasun yleiset ominaisuudet [2, s. 187.]

Maakaasu	
Moolimassa (M)	16,0 g/mol
Tiheys normaaliolotilassa (0 °C ja 1 bar)	0,72 kg/m ³
Suhteellinen tiheys	0,56
Sulamispiste	-182 °C
Kiehumispiste	-161,5 °C
Kriittinen lämpötila	-82 °C
Höyrystymislämpötila	549 kJ/kg
Tiheys nestemäisenä	421 kg/m ³
Tilavuussuhde	587
Kaasumaisen tuotteen kompressibiliteettikerroin	$k = 1,0016 - \left(\frac{P_{abs}}{476 \text{ bar}}\right)$
Kastepiste (40 bar)	Talvella kork. -5 °C ja kesällä kork. 0 °C
Ominaislämpökapasiteetti (0 °C)	$C_p = 2,15 \frac{kJ}{kg} K$, $C_v = 1,63 \frac{kJ}{kg} K$
Lämpökapasiteettisuhde	$\frac{C_p}{C_v} = 1,3$
Lämpötilan muuttuminen painetta alennettaessa	$\frac{\Delta T}{\Delta p} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{bar}$
Viskositeetti (20 °C)	Dynaaminen 11,0 * 10 ⁻⁶ kg/ms
	Kinemaattinen 16,7 * 10 m ² /s

Maakaasu on hajutonta ja väritöntä hiilivetyä, ja sitä joudutaan turvallisuuden vuoksi hajustamaan. Hajustaminen tehdään siirtoverkon paineenvähennysasemilla, siirtoverkon omistaa Gasum Oy. Hajusteaineena toimii THT eli tetrahydrotiofeeni (C₄H₈S). Tetrahydrotiofeeni on voimakkaan hajuihin väritön neste ja ympäristön kannalta vaarallinen aine. Jo lyhyellä altistumisella se voi aiheuttaa huimausta, päänsärkyä, pahoinvointia kouristuksia, ja vaikutuksia keskushermostossa. Tappavan annoksen raja oraalisesti (LD₅₀) rotilla on 1750 mg/kg ja hengitettynä (LC₅₀) hiirillä 27000 mg/kg. THT on myös erittäin helposti syttyvä. Hajusteainetta lisätään maakaasuun 15 mg/m³, joka on 0,015 mg/kg. Hajustetun maakaasun voi aistia ilmassa, kun sen pitoisuus huoneilmassa on vähintään 0,05–0,2 %. [2, s. 186; 6; 7, s. 2.]

Taulukossa 3 on listattuna erilaisten yleisten kaasujen tiheyksiä ja suhteellisia tiheyksiä. Taulukosta nähdään, että maakaasu on ilmaa kevyempää ja tämä on yksi syy, miksi maakaasua pitää hajustaa. Maakaasu on kokoonpuristuvaa, ja näin sitä voidaan paineistaa siirtoverkkoon. Maakaasua paineistetaan, että voidaan käyttää pienempiä putkikalaisijoita. Suomessa siirtoverkon paine on parhaimmillaan 54 baaria. Ilmaa kevyempää

typpikaasua voidaan käyttää ilmaisemaan vuotoja, esimerkiksi käyttöputkistossa. [2, s. 186.]

Taulukko 3. Yleisten kaasujen tiheys ja suhteellinen tiheys [5, s. 6.]

	Molekyylikaava	Moolin massa (g/mol)	Tiheys (kg/m ³)	Suhteellinen tiheys
Metaani	CH_4	16,40	0,72	0,56
Eteeni	C_2H_4	28,05	1,26	0,98
Etaani	C_2H_6	30,07	1,35	1,05
Propeeni	C_3H_6	42,08	1,91	1,48
Propaani	C_3H_8	44,10	2,01	1,56
Butaani	C_4H_{10}	58,12	2,71	2,10
Vety	H_2	2,02	0,09	0,07
Typpi	N_2	28,01	1,25	0,97
Happi	O_2	32,00	1,43	1,11
Ilma	-	28,96	1,29	1,00

2.1.1 Lämpöarvo

Tärkein ominaisuus kaasua poltettaessa on sen lämpöarvo. Lämpöarvoja on kaksi, alempi ja ylempi lämpöarvo. Alempi lämpöarvo on tehollinen ja ylempi lämpöarvo on kalorimetrinen. Tehollinen eli alempi lämpöarvo tarkoittaa lämpöenergian määrää, joka vapautuu, kun polttoaine palaa täydellisesti, ja savukaasuissa oleva vesi on vesihöyryä. Ylemmässä lämpöarvossa on mukana savukaasujen sisältämän vesihöyryn lauhtumislämpö eli olotilan muutoksesta johtuva lämpöenergia on huomioitu mukaan. [8, s. 2.] Taulukossa 4 on joidenkin kaasujen lämpöarvoja. Taulukosta näkee, että maakaasun lämpöarvo on hyvä verrattuna muihin kaasuihin.

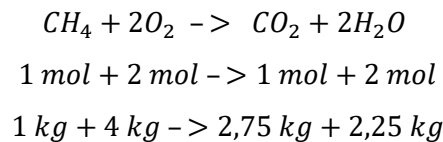
Taulukko 4. Joidenkin polttoaineiden lämpöarvoja, tehollinen on alempi lämpöarvo [5, s. 7.]

		Maakaasu	Propaani	Kevyt polttoöljy	Raskas polttoöljy
Tiheys		0,72 kg/m ³	2,01 kg/m ³	0,85 kg/dm ³	0,963 kg/dm ³
Ylempi lämpöarvo	MJ/m ³ n	39,8	101,2	-	-
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	55,3	50,3	44,6	44,4
	MJ/m ³ n	36,0	93	-	-
	MJ/kg	50,0	46	42,7	40,6
	kWh/kg	13,9	12,8	11,8	11,3
	kWh/m ³ n	10,0	28,8	-	-

2.1.2 Tiheys ja palaminen

Maakaasun esiintyy ilmakehänpaineessa kaasuna ja sen palamisnopeus on suuri. Maakaasu omaa korkean syttymislämpötilan ja kapean syttymisalueen. Syttyäkseen maakaasu vaatii 5–15-prosenttisen kaasu-ilmaseoksen ja 600–650 °C:n syttymislämpötilan. Maakaasun tiheyttä verrataan ilman tiheyteen ja suhteellinen tiheys maakaasulla ilmaan verrattuna on 0,56. Jos metaani on kaasuna normaaliolotilassaan, on sen ominaispaino 0,72 kg/m³. Normaaliolotila on tässä tapauksessa, T on 0 °C ja P_{abs} on 1 bar. [5, s. 12.]

Maakaasun palamisreaktio on monimutkainen ja moniosainen, ja se pitää sisällään satoja eri reaktioita ja välivaiheita. Metaanin palamisreaktiosta voidaan laskea palamiseen vaadittava teoreettinen ilmamäärä 1 m³:lle maakaasua.



Lasketaan pienin ilmantarve L_{min}. Ilmassa on happea noin 20,9 til-% (23,1 p-%) ja typpeä noin 79,1 til-% (76,9 p-%).

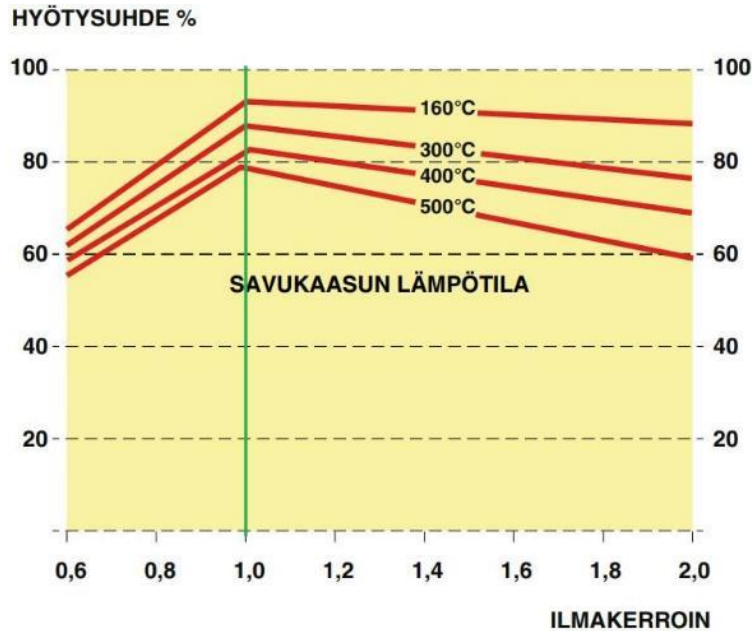
$$L_{min} = \frac{4 \frac{kg}{kg} \text{ metaania}}{0,231} = 17,3 \frac{kg}{kg} \text{ metaania}$$

josta on happea 4 kg ja typpeä 13,3 kg. Tilavuusvirrat voidaan laskea, kun tiedetään metaanin (0,72 kg/m³) ja ilman (1,293 kg/m³) tiheydet.

$$\frac{0,72 \frac{kg}{m^3} * 17,3 \text{ kg}}{1,293 \frac{kg}{m^3}} = 9,6 \text{ m}^3$$

Teoreettisen palamisilmantarve 1 m³ maakaasua on 9,6 m³. Tämä pitää sisällään 2 m³ happea ja 7,6 m³ typpeä. Palamisessa syntyy hiilidioksidia ja vesihöyryä. Poltettaessa 1 m³ metaania lasketulla teoreettisella ilmamäärällä hiilidioksidia on 2,0 kg ja vesihöyryä 1,6 kg. Savukaasuissa on ilman mukana tullutta typpeä 9,5 kg. Lämpöenergiaa saadaan n. 10 kWh eli 36 MJ. Maakaasun polttamisessa polttimeen lisätään aina lisää ilmaa enemmän kuin teoriassa tarvitsisi, näin varmistetaan riittävän täydellinen palaminen. Jos

palamistapahtumassa ei ole happea tarpeeksi, palaminen on epätäydellistä. Epätäydellisessä palamisessa syntyy hiilimonoksidia (CO) ja joskus myös hiiltä (C). [5, s. 14.] Kuvasta 1 nähdään ilmakertoimen vaikutus maakaasun palamishyötysuhteeseen.



Kuva 1. Ilmakertoimen vaikutus palamishyötysuhteeseen [5, s. 15.]

Kaasut vaativat palamiskelpoisen seoksen, ja seoksen tarkat arvot riippuvat palamisilman happipitoisuudesta ja lämpötilasta. Jos kaasuseoksesta halutaan tehdä syttymiskelvotonta, vaikka huoltotöiden ajaksi, seosilmaan voidaan lisätä esimerkiksi typpeä. Jos typen osuus on 37 til-%, se tekee maakaasusta syttymätöntä. Jos maakaasua poltettaessa käytetään liikaa ilmaa, se näkyy palamishyötysuhdetta heikentävänä. Liika palamaton ilma kuljettaa palamistapahtumassa saatua lämpöenergiaa pois. Maakaasun palaminen ei saa tapahtua liian vähällä ilmalla, koska tällöin muodostuu hiilimonoksidia (CO) ja savukaasuihin voi jäädä palamattomia hiilivetyjä (C_xH_y). Jos savukaasujen (CO₂) ja jäännöshappi (O₂) mitataan esimerkiksi savukaasuanalysaattorilla, niin näistä voidaan määrittää poltossa käytetty ilmakerroin. [5, s. 16.]

Ilmakerroin voidaan määrittää, kun tiedetään savukaasujen pitoisuus (CO₂)

$$\lambda_{CO_2} = 1 + \left(\frac{CO_{2maks.} - CO_2}{CO_2} * \frac{V_{min}^{tr}}{L_{min}} \right)$$

ja jäännöshapen pitoisuus (O_2)

$$\lambda_{O_2} = 1 + \left(\frac{O_2}{21 - O_2} * \frac{V_{min}^{tr}}{L_{min}} \right)$$

jossa

$CO_{2\ max}$ $til-\%$
 CO_2 $til-\%$
 O_2 $til-\%$

} kuivien savukaasujen pitoisuudet

V_{min}^{tr} m^3/m^3 – stoikiometrinen palaminen eli teoreettinen määrä kuiville savukaasuille

L_{min} m^3/m^3 – teoreettinen tarve palamisilmalle

Käytetään metaania esimerkkinä, jossa mitattu savukaasujen pitoisuus (CO_2) on 10,5 til-% ja jäännöshapen (O_2) mitattu pitoisuus on 2,2 til-%.

savukaasulle (CO_2)

$$\lambda_{CO_2} = 1 + \left(\frac{11,7 - 10,5}{10,5} * \frac{8,6}{9,6} \right) \approx 1,1$$

ja jäännöshapelle (O_2)

$$\lambda_{O_2} = 1 + \left(\frac{2,2}{21 - 2,2} * \frac{8,6}{9,6} \right) \approx 1,1$$

Savukaasuissa on pieni määrä typen oksideja ja niiden muodostuminen on riippuvainen polttoprosessista, polttolämpötilasta, ilmakertoimesta ja sen sekoituksesta. Polttolämpötilalla on suuri vaikutus typen oksidien muodostumisen kannalta. Korroosiovaara, joka syntyy rikkihapon vaikutuksesta, on todella pieni, koska Suomeen tuleva maakaasu on melkein kokonaan rikitöntä. Palamisessa syntyy paljon vettä, koska metaanin vetypitoisuus on suuri. Palaessa maakaasun liekki on sininen ja se on heikosti valaiseva. Liekki on heikosti säteilevä, koska siitä puuttuu vapaiden hiilipartikkeleiden aikaansaama liekisäteily. [5, s. 16.]

2.1.3 Maakaasun savukaasut

Yhden metaanikilogramman stoikiometrisessä palamisessa syntyy 18,32 kg savukaasuja. Stoikiometrinen palaminen tarkoittaa ideaalista palamista, eli polttoaineen palavat komponentit reagoivat täydellisesti ideaaliseen lopputuotteeseen. Savukaasussa on 2,25 kg vesihöyryä ja kuivaa savukaasua 16,07 kg. Suurin osa savukaasusta on ilman mukana kulkeutunutta typpeä. Jos ilmakerrointa kasvatetaan, niin typen ja hapen osuus savukaasussa suurenee. Taulukosta 5 nähdään kuinka ilmakerroin vaikuttaa savukaasujen koostumukseen.

Taulukko 5. Savukaasujen koostumus eri ilmakertoimilla [5, s. 20.]

Ilmakerroin				
kg / kg metaania	1,00	1,10	1,20	1,30
CO ₂	2,75	2,75	2,75	2,75
H ₂ O	2,25	2,25	2,25	2,25
N ₂	13,32	14,65	15,98	17,31
O ₂	0	0,4	0,8	1,2
Yhteensä	18,32	20,05	21,78	23,51
Ilmakerroin				
p-%	1,00	1,10	1,20	1,30
CO ₂	15,0 %	13,7 %	12,6 %	11,7 %
H ₂ O	12,3 %	11,2 %	10,3 %	9,6 %
N ₂	72,7 %	73,1 %	73,4 %	73,6 %
O ₂	0,00 %	2,0 %	3,7 %	5,1 %
Yhteensä	100 %	100 %	100 %	100 %

Kaasusäteilyllä tarkoitetaan kolmiatomisten kaasujen säteilyä, joka tapahtuu yli 500 °C:ssa. Maakaasua poltettaessa syntyy paljon vesihöyryä, joten sen kaasusäteily on voimakkaampaa kuin öljyn savukaasujen kaasusäteily. Kaasusäteilyn osuus liekkisäteilystä on huomattavasti pienempi säteilylämmönsiirrosta. Kokonaissäteilyintensiteetti maakaasuliekillä on selvästi pienempi kuin öljyliekillä. [5, s. 20.]

2.1.4 Lämmönsiirto

Maakaasuliekien pienemmän säteilyn takia lämmönsiirto tulipesässä on n. 5–20 % pienempi kuin käytettäessä öljyä polttoaineena. Öljyn poltossa kertyy säteilypinnalle nokea, joka hieman kaventaa eroa. Maakaasua poltettaessa tulipesän loppulämpötila on korkeampi kuin poltettaessa öljyä. Lämmönsiirto maakaasukattiloissa tapahtuu konvektion kautta. Esimerkiksi voimalaitoksen kattiloissa käytettävää ekonomaiseria voidaan käyttää jäähdyttämään maakaasun poltossa syntyviä savukaasuja hyvin matalaan lämpötilaan (100 °C). Jäähdyttämällä savukaasuja ekonomaiserialla esimerkiksi 200 °C:sta 100 °C:seen saadaan puolitettyä savukaasuhäviöt. Vesikastepiste on kriittinen lämpötila maakaasun savukaasujen jäähdyttämiseksi. [5, s. 21–22.]

2.2 Biokaasu

Biokaasu on yksi vartenotettavista vaihtoehtoista tulevaisuuden polttoaineista. Biokaasulla pyritään vähentämään kasvihuonekaasuja energiantuotannossa sekä liikenteen polttoaineena. Taulukossa 6 vertaillaan biokaasun koostumusta maakaasuun.

Taulukko 6. Biokaasun ja maakaasun koostumus [9, s. 41; 10.]

	Biokaasu	Maakaasu
Metaani (%)	40 - 75	87 - 98
Hiilidioksidi (%)	25 - 55	0,5 - 1,0
Happi (%)	0 - 1	0 - 0,1
Typpi (%)	0,0001 - 0,0002	0,2 - 5,5
Ammoniakki (%)	0 - 0,0002	-
Rikkivety (%)	0,02 - 0,12	-
Siloksaanit (mg/m ³)	0,2 - 14,0	-
Lämpöarvo	4 - 6 kWh/m ³ n	10 kWh/m ³ n

Biokaasua voidaan käyttää samalla tavalla kuin maakaasua ja putkistoissa voidaan siirtää biokaasua ilman rakenteellisia muutoksia. Taulukosta 5 nähdään, että biokaasun lämpöarvo riippuu sen metaanipitoisuudesta. Biokaasun metaanipitoisuutta pitää nostaa jalostamalla sitä ennen verkkoon syöttämistä. Biokaasua valmistetaan mädättämällä biomassaa anaerobisesti. Orgaanisen aineksen hajoamisessa syntyy vetyä välituotteena,

jonka mikro-organismit käyttävät metaanin tuotantoon. Prosessia voidaan toteuttaa, niin että osasta orgaanista ainesta tuotetaan vetyä. Näin prosessissa voidaan tuottaa vetyä ja metaania, kaksivaiheisena prosessina. Vedyn tuotanto on tosin tutkimusvaiheessa vielä, ilman täyden mittakaavan sovelluksia. [2, s. 189.]

2.3 Biokaasun tuotanto

Biokaasua voidaan valmistaa lähes kaikesta materiaalista, joka on biohajoavaa, esimerkiksi jätevesilietteestä, lannasta, maatilojen ylivuotisista rehuista, teollisuuden sivutuotteista ja jätevesistä. Parhaiten biokaasun raaka-aineeksi soveltuu orgaaniset massat, koska metaanibakteerit toimivat hyvin vesipitoisessa ympäristössä. Näin ollen lietemäiset jätteet ovat erinomaista raaka-ainetta biokaasun tuotantoon, esimerkiksi lietelanta maatilataloudessa, kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden lietteet ja elintarviketeollisuuden lietteet. Biokaasun tuotantoa voidaan tehostaa lisäämällä orgaanisen aineksen syöttöä, eli lietteisiin lisätään esimerkiksi kiinteää kasvimassaa sen verran, että lietteen kuiva-ainepitoisuus nousee lähemmäksi 10 % tai hieman sen yli. Teoreettisesti metaania saadaan eniten rasvoista, 1014 l/kg OA, proteiineista 496 l/kg OA ja hiilihydraateista 415 l/kg OA. Lietelannan yhdestä kuutiometristä saadaan biokaasua n. 20 m³, joka vastaa n. 6,5 kWh energiaa. [2, s. 189.]

Suomessa hyvä energiapotentiaali on biomassasta tuotetussa biokaasussa. Biokaasun täyttä potentiaalia ei ole Suomessa vielä hyödynnetty. Vuonna 2018 Suomessa tuotettiin 1 TWh biokaasua. Suomessa biokaasulaitosten pääraaka-aineena on jätteet. Suomessa mädättämällä tuotetun biokaasun teknillistaloudelliseksi tuotantopotentiaaliksi on arvioitu n. 10 TWh ja teoreettiseksi raaka-ainepotentiaaliksi on arvioitu jopa yli 20 TWh. 4,7 TWh tuosta potentiaalista saataisiin hoidettujen, viljelemättömien peltojen ja viherkesanoiden biomassasta. Potentiaalista on hyödynnetty tällä hetkellä n. 4 %. Vertailun vuoksi, vuonna 2015 Ruotsissa tuotettiin biokaasua kuusinkertaisesti verrattuna Suomeen. Saksassa biokaasua tuotettiin samaisena vuonna 40 TWh. Vuoden 2019 alussa Suomessa on arvioitu olevan n. 6 700 kaasuautoa. [7; 11; 12; 13.]

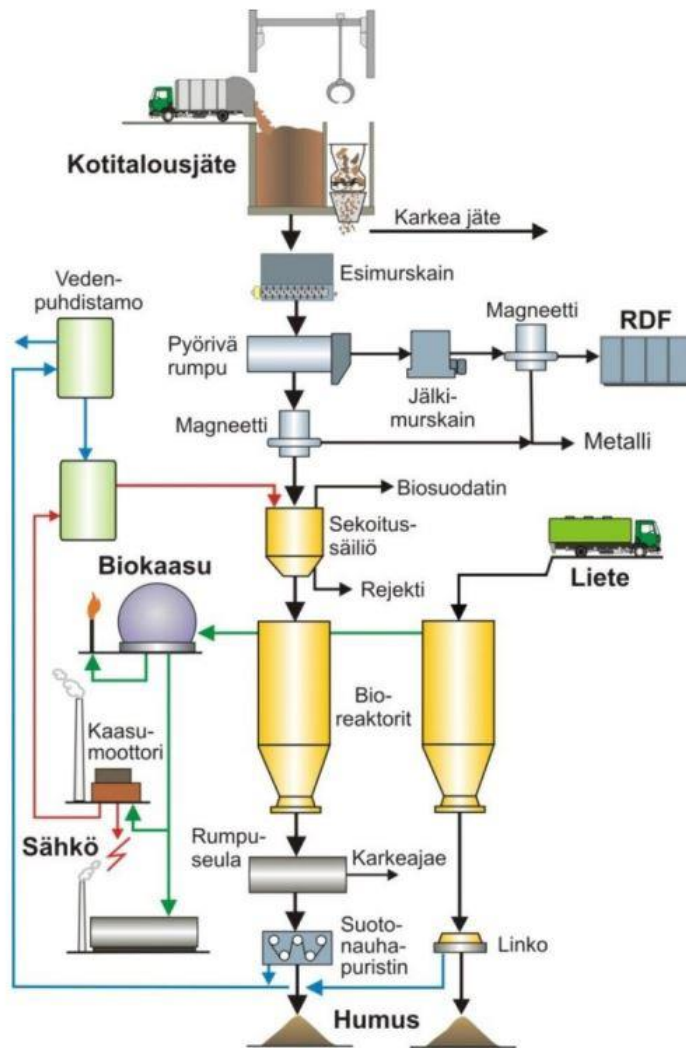
Biokaasun varastointi on hankalaa. Yleisimmin käytetty varastointitapa on kaasukellovarasto tai membraanisäiliö. Taloudellisesti on järkevää säilöä vain yhden päivän kaasun-

tuotanto. Kustannustehokkainta on käyttää tuotettu kaasu välittömästi, esimerkiksi energiantuotantoon. Biokaasun puhdistuksen ja metaanipitoisuuden korottamisen jälkeen sitä voidaan syöttää maakaasuverkkoon. Metaanipitoisuus korotetaan 95 %:iin. Liikennekäyttöön tarkoitettun biokaasun tehollinen lämpöarvo on 10 kWh/m³. Korottamatonta biokaasua voidaan käyttää tuotantolaitoksen läheisyydessä oleville yritysasiakkaille. [2, s. 195.]

2.3.1 Tuotanto biokaasulaitoksella

Biokaasulaitoksella syntyvää biokaasua voidaan jalostaa liikenteeseen biopolttoaineksi, teollisuuden kaasuksi tai käyttää sitä voimalaitoksessa sähkön ja lämmön tuotantoon. Biokaasulaitoksella valmistetaan biokaasua hallitusti reaktorissa. Biokaasulaitoksilta saadaan myös biokaasun lisäksi orgaanisia lannoitevalmisteita. Biokaasulaitoksiin saapuvat biohajoavat jakeet menevät laitoksen läpi käsittelyprosessissa, jossa jakeista jalostuu orgaanisia lannoitevalmisteita. Lannoitteet syntyvät biokaasun mädätysjäännöksistä, kuten biojätteestä, teollisuuden biohajoavista sivutuotteista sekä puhdistamolietteestä. Lannoitteista tuhoetaan mahdolliset taudinaiheuttajat, tuholaiset ja rikkakasvien siemenet menetelmällä, jossa raaka-ainemassa kuumennetaan yli 70 °C:seen. [14.]

Saksassa biokaasulaitoksia on yli 10 000 kappaletta. Suomessa biokaasua tuotetaan maakaasuverkkoon neljällä biokaasulaitoksella, Mäkikylällä Kouvolassa, Suomenojalla Espoossa, Kujalassa Lahdessa ja Riihimäellä. [11; 15.] Biokaasua tuotettiin reaktorilaitoksissa vuonna 2014 61,5 miljoonaa kuutiometriä. Biokaasulla tuotettiin lämpö- ja sähköenergiaa yht. 309,6 GWh. [2, s. 191.] Kuvassa 2 on esitetty biokaasulaitoksen toimintaperiaate.



Kuva 2. Biokaasulaitoksen toimintaperiaatekuva [2, s. 191.]

2.3.2 Tuotanto maatilalla

Vuonna 2018 lopussa Suomessa maatalouden biokaasulaitoksia oli toiminnassa 20 kpl. Biokaasun tuotanto maatilalla lisää merkittävää apua maatalouden kannattavuuteen, kun maataloudessa syntyvistä lietteistä ja ylivuotisista rehuista voidaan tuottaa biokaasua, sekä vähentää lietelannan hajuhaittoja. Biokaasulla voidaan tuottaa maatilalle sähköä ja lämpöä. Mädättämisen seurauksena lannoite on lannoittavuudeltaan parempaa, joten lisälannoitteita ei tarvitse niin paljoa. Mädätysjäännöksestä voi myös valmistaa kui-

viketta navettaan. Myös maatilalla on mahdollista valmistaa biokaasua liikenteen käyttöön jalostamalla sitä. Suomessa toimii yritys nimeltä Demeca Oy, joka valmistaa valmiita ratkaisuja maatalolle biokaasun tuotantoon. [16; 17.]

Suomessa kotieläinten tuottama lietelannan määrä on yli 17 miljoonaa kuutiometriä, joka on 2,25 miljoonaa tonnia kuiva-ainetta. Lietelannan keskimääräinen potentiaali on 1,4 TWh/a. [2, s. 192.] Kuvassa 3 näkyy Demeca Oy:n ratkaisu biokaasun tuotantoon maatilalla. Kuvassa olevien konttien sisällä on puhdistus- ja kuivausyksiköt, generaattori ja kaasupoltin. Kaasuntuotanto mädättämällä tapahtuu erillisessä reaktorirakennuksessa. [16.]

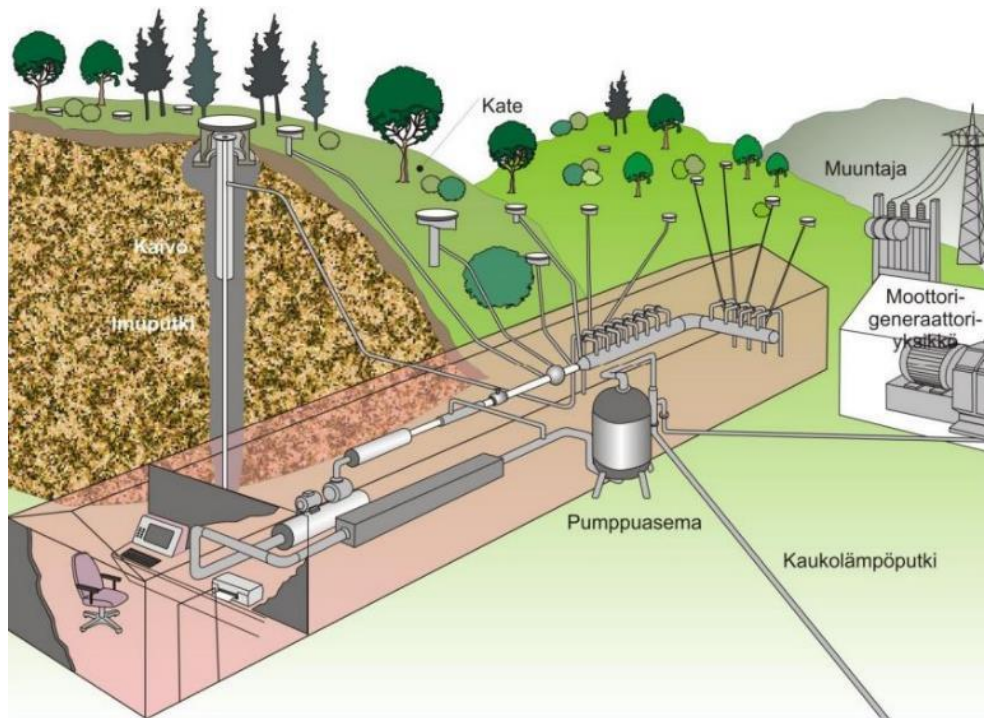


Kuva 3. Biokaasun tuotanto maatilalla [16.]

2.3.3 Tuotanto kaatopaikalla

Biokaasun tuotantoa kaatopaikalla kutsutaan kontrolloimattomaksi tuotannoksi. Kaasua kerätään kaatopaikalta siiviläputkilla, jotka on asennettu jätepenkereeseen. Putket voivat olla sijoitettuna pystyyn, jolloin ne toimivat imukaivoina tai ne voi toimia salaojina eli ne ovat vaakatasossa. On mahdollista kerätä kaasua myös näistä yhdistetyillä rakenteilla, sekä louhesalaojilla eli tunneleilla. Suomessa parhaiksi ovat osoittautuneet pystykaivot korkeilla kaatopaikoilla ja salaojat toimivat parhaiten, jos täyttökorkeus on pienempi kuin

kuusi metriä. Molempia metodeja voidaan käyttää käytössä olevalla kaatopaikalla. [2, s. 194.] Kuva 4 esittää, kuinka biokaasua voidaan tuottaa kaatopaikalla.



Kuva 4. Biokaasun tuotanto kaatopaikalla [2, s. 194.]

Vuonna 2015 biokaasua otettiin talteen 40 kaatopaikkalaitokselta yhteensä 94,0 miljoonaa m³. Vuosittaiseksi biokaasun määräksi, joka muodostuu kaatopaikoilla, on arvioitu n. 200 miljoonaa m³. Vuodesta 2016 lähtien orgaanisen jätteen sijoittamisesta kaatopaikoille on tehty valtioneuvoston kielteinen asetus (331/2013). Suomalaisen kaupungin keskikokoinen kaatopaikka tuotti biokaasua noin 200–400 m³/h, ennen vuotta 2016 jonka jälkeen kiello tuli voimaan. Anaerobinen hajoaminen, joka tuottaa biokaasua alkaa vasta 2–4 vuoden kuluttua kaatopaikan läjittämisestä ja se jatkuu jopa vuosikymmeniä. Myös jätevedenpuhdistamojen ja teollisuuden mädättämöissä tuotetaan biokaasua huomattavia määriä. Esimerkiksi, 4–7 m³:stä jätevedettä, 8–12 kg:sta orgaanista jätettä tai 5–7 kg:sta biojätettä saadaan 1 kWh sähköä ja 1,23 kWh lämpöä. [2, s. 193.]

Kun kaatopaikkakaasu pääsee ulkoilmaan, se on hyvin herkästi syttyvää, haisevaa ja saastuttaa ympäristöä. Metaani on jopa 20 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuoneilmiötä edistävä kaasu päästessään ilmakehään asti. Metaani aiheuttaa kaatopaikalla

myös tulipaloja. Kaatopaikalta saatavaa metaania pitää jalostaa metaanipitoisuutta vahvistamalla, jotta sitä voidaan käyttää liikenteen polttoaineena tai maakaasuverkossa. [2, s. 193.]

2.4 Biokaasun jalostus

Biokaasureaktorista saatavaa raakaa biokaasua voidaan puhdistamisen ja kuivaamisen jälkeen paineistaa. Paineistuksen jälkeen biokaasua voidaan syöttää generaattorille tuottamaan sähköä ja lämpöä. Sähkön- ja lämmöntuotantoon raakabiokaasusta puhdistetaan rikki- ja piiyhdisteet. Yhdisteiden puhdistus voidaan toteuttaa aktiivihieillä.

Jos biokaasua on tarkoitus käyttää liikennepolttoaineena, raakabiokaasua pitää jalostaa, jotta metaanipitoisuus saadaan nousemaan. Jos tarkoituksena on jakaa biokaasureaktorista saatavaa biokaasua maakaasuverkostossa, biokaasun tulee täyttää kaasuverkon hallinnoijan tiukat vaatimukset. Raakabiokaasun jalostus voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä. [18.]

2.4.1 Fysikaalinen adsorptio aktiivihieleen

Fysikaalisessa adsorptiossa aktiivihieleen (Pressure Swing Adsorption) kaasun painetta nostetaan 4–10 baariin, jolloin hiilidioksidi ja muut kaasut adsorboituvat aktiivihieleen. Kaasut pääsevät vapaaksi aktiivihielestä, kun painetta lasketaan. Aktiivihielemenetelmää voidaan käyttää 5–35 °C:n lämpötiloissa. Raakabiokaasusta täytyy poistaa rikkidioksidi ja vesi tätä menetelmää käytettäessä, koska ne laskevat merkittävästi aktiivihieleen adsorbointikykyä tukkimalla aktiivihieleen mikrohuokoset. Menetelmä perustuu kaasumolekyylien muuttuvaan adsorptioon ympäröivän paineen vaihtuessa. Aktiivihieleen käyttöikä on n. 4 000–8 000 tuntia. [19, s. 68.] Kuvassa 5 on esimerkki, kuinka aktiivihieiltä käytetään biokaasun jalostuksessa.

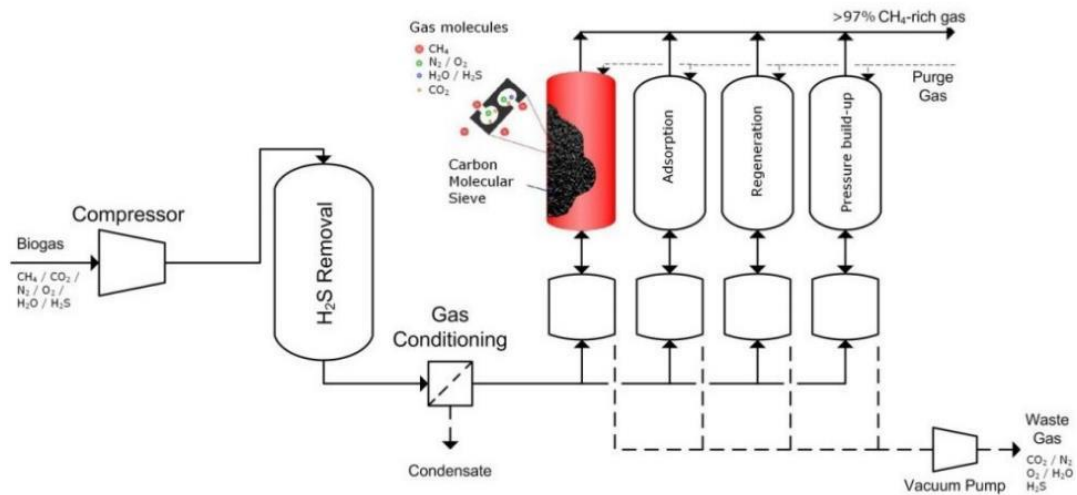


Illustration Credit: Zhao et al. (2010)

Kuva 5. Fysikaalinen adsorptio aktiivihiileen [19, s. 68.]

2.4.2 Fysikaalinen adsorptio vesipesulla

Vesipesulla (Pressurized Water Scrubbing) erotellaan raakabiokaasu metaaniksi ja hiilidioksidiksi vesisäiliöissä, joiden paine on n. 7–8 baaria. Hiilidioksidi (CO_2) ja rikkivety (H_2S) sitoutuvat veteen. Painetta laskemalla vapautetaan sitoutunut hiilidioksidi vedestä ja näin samaa vettä voidaan kierrättää. Biometaani kuivataan vesipesun jälkeen. Vesipesuteknikka perustuu kaasujen muuttuvaan liukoisuuteen painetta ja lämpötilaa muuttaessa. Vesipesuteknikka on yleisimmin käytettävä menetelmä veden saatavuuden, järjestelmän taloudellisuuden, yksinkertaisen tekniikan, järjestelmän joustavuuden, ja alhaisen myrkyllisyyden takia. Suomessa vesipesuteknikka on käytössä kolmessa suomalaisessa jalostuslaitoksessa, esimerkiksi Suomenojan biokaasujalostamolla. Vesipesujärjestelmä vaatii veden puhdistamista, että vedessä kehittyvät myrkylliset patogeenit eivät pääse biokaasun sekaan. [19, s. 72.] Kuvassa 6 on esimerkki biokaasun vesipesusta.

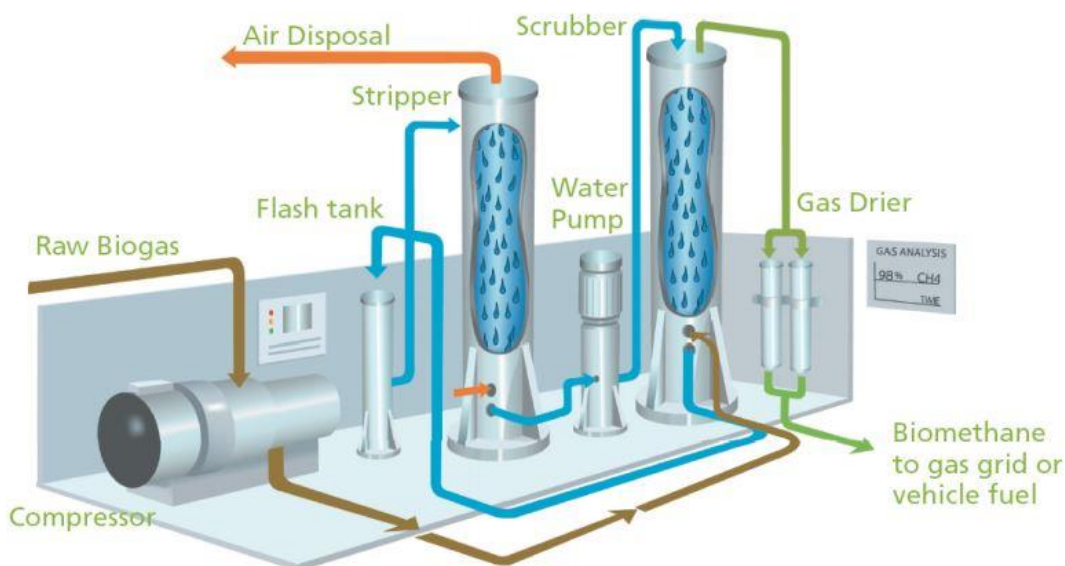


Illustration Credit: Hudde (2010)

Kuva 6. Fysikaalinen adsorptio vesipesulla [19, s. 72].

2.4.3 Fysikaalinen adsorptio kemikaalipesulla

Fysikaalisessa adsorptiossa kemikaalipesulla (Genosorb) käytetään samaa tekniikkaa kuin vesipesussa, mutta veden tilalla tai veteen lisättyä käytetään nestemäistä kemikaalia, joka adsorboi hiilidioksidia ja rikkivetyä. Kemikaali voi olla esimerkiksi alkalinen suolaliuos tai amiiniliuos. Kemikaaliliuosta lämmittämällä se luovuttaa adsorboituneet yhdisteet. Alkalisen suolaliuoksen käyttäminen veteen lisättyinä mahdollistaa alemmat paineet järjestelmässä. [18.]

2.4.4 Kemiallinen adsorptio amiinipesulla

Kemiallisessa adsorptiossa amiinipesulla (Amine washing) käytetään hiilidioksidin ja amiiniliuoksen reaktiota. Amiiniliuos voi olla esimerkiksi 2-aminoetanolia (C_2H_7NO) Pe-suliuos palautetaan takaisin toimivaksi kuumentamalla se 100–180 °C:seen. Prosessia voidaan käyttää lähes normaalissa ilmanpaineessa. Yleisimmät ongelmat amiinipesussa on korrosio, vaahtoaminen, epäpuhtauksien kertyminen järjestelmään ja amiiniliuoksen hajoaminen. [19, s. 69.]

2.4.5 Kalvoerottelu

Kalvojalostuksessa (Membrane separation) käytetään puoliläpäiseviä kalvoja, joiden eri puolilla on paine-ero, jolla saadaan erotettua metaani ja hiilidioksidi. Paine on n. 7–10 baaria. Kalvojen toiminta heikkenee, jos raakabiokaasusta ei ole eroteltu rikkidioksidia, vettä ja muita epäpuhtauksia. Kalvokäsittely voidaan tehdä useassa vaiheessa. Raakabiokaasun puhdistamisesta huolimatta kalvot voivat kärsiä plastisoitumisesta, tiivistymisestä, ikääntymisestä ja likaantumisesta. Tyypillinen elinikä kalvoilla on n. 5–10 vuotta. [19, s. 76.] Kuvassa 7 esitetään kalvoerottelu, jossa erottelukalvona toimii polyimidi (PI).

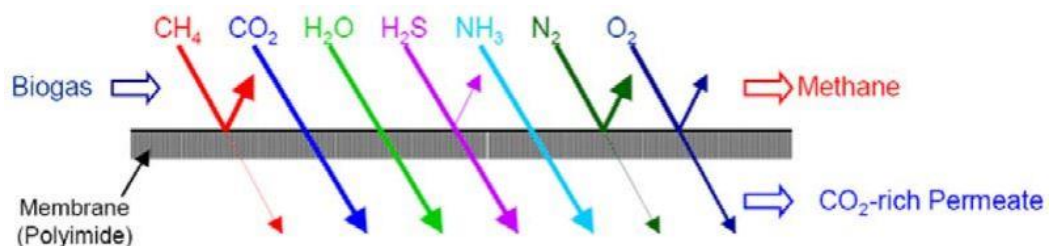


Illustration Credit: Harasek (2006)

Kuva 7. Kalvojalostus [19, s. 76.]

2.4.6 Kryojalostus

Kryojalostus (Cryogenic separation) perustuu biokaasun puhdistamiseen ja hiilidioksidin erottamiseen jäädyttämällä raakabiokaasua n. -45...-59 °C:seen ja paineistamalla 18–30 baariin, jolloin hiilidioksidi tiivistyy. Korkeaa painetta käytetään, että hiilidioksidi pysyy nestemäisenä eikä tuki järjestelmää. Kryojalostus on ainoa jalostusmenetelmä, jolla voidaan typpi ja happi erottaa raakabiokaasusta, joten se sopii hyvin kaatopaikkakaasun jalostukseen. Kryojalostuslaitteistolla on korkeat hankinta- ja käyttökustannukset. Korkeat kustannukset selittyvät laitteiston monimutkaisuudella ja korkeilla turvallisuusvaatimuksilla, sekä osin myös laitteiston suurella sähkönkulutuksella. [19, s. 79.]

Kryojalostus tapahtuu neljässä vaiheessa, jotka on myös esitetty kuvassa 8:

- Reaktorikaasu tai kaatopaikkakaasu jäädytetään, sekä siitä poistetaan vesi ja epäpuhtaudet.

- Kaasun jäädytystä jatketaan ja se suodatetaan katalysaattorissa, jossa kaasusta absorboidaan rikkivety, siloksaanit ja muut epäpuhtaudet.
- Hiilidioksidi erotetaan puhdistetusta biokaasusta, hiilidioksidi on nyt nestemäisessä muodossa.
- Myös biokaasu muuttuu nestemäiseen muotoon (LBG). Happi, typpi ja muut kaasut erotetaan kaasumuodossa.

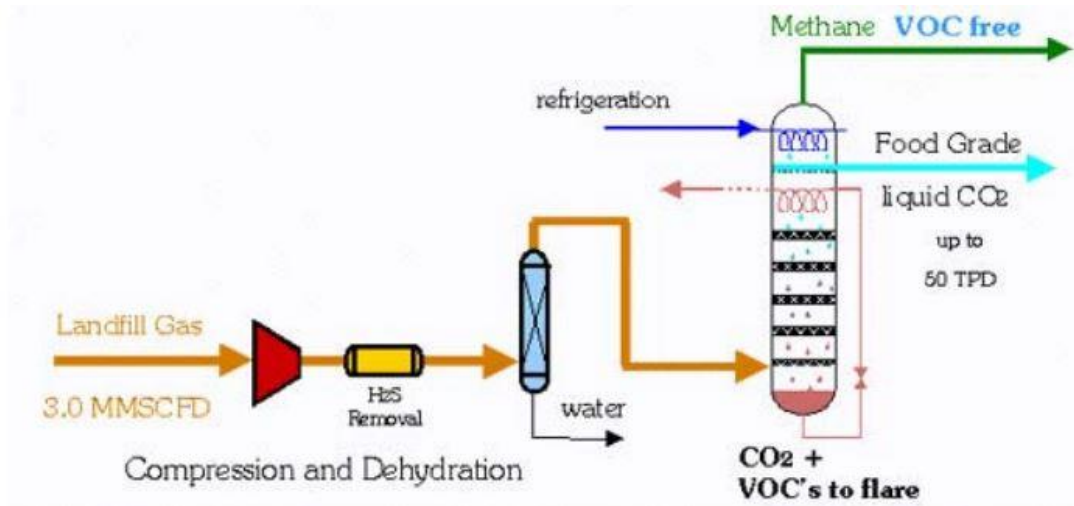


Illustration Credit: Adapted from Acirion Technologies, Inc. (2014)

Kuva 8. Kryojalostusmenetelmä [19, s. 80.]

2.5 LNG

LNG (Liquified Natural Gas) on nesteytettyä maakaasua. Maakaasu nesteytyy, kun sen se jäädytetään alle $-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n. Näin maakaasun tilantarve saadaan pienennettyä huomattavasti, nesteytyessä se muuttuu 600-kertaisesti kaasumaisesta olomuodosta pienempään tilaan. Nesteytetty maakaasu on väritöntä, myrkytöntä ja kirkasta nestettä. Nesteytettyä kaasua on helpompi kuljettaa ja varastoida. Usein sitä kuljetetaan säiliöaluksilla, säiliöautoilla ja junilla. Nesteytetyn maakaasun käyttö on lisääntynyt huomattavasti meriliikenteessä, ja tähän on syynä tiukentuneet päästörajat laivoille. Samoin on käynyt raskaalle liikenteelle, ja Gasum Oy on luvannut laajentaa tankkausasemaverkostoaan 50 uudella tankkausasemalla Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa 2020-luvun alkuun mennessä. Myös teollisuus on alkanut käyttämään LNG:tä, koska se palaa puhtaasti, joten sitä voidaan hyödyntää tuotteiden lämmityksessä, kuivatuksessa ja valmistuksessa. [5, s. 8; 20.]

2.6 CNG

CNG (Compressed Natural Gas) on paineistettua maakaasua tai biokaasua. Kaasu paineistetaan 200–250 baarin paineeseen. Kaasu saadaan pienempään tilaan paineistamalla. Erilaisissa ajoneuvoissa käytetään yleisesti paineistettua kaasua, mutta se vaatii hieman enemmän tilaa, koska paineistettu kaasu vie enemmän tilaa kuin nestemäinen polttoaine verrattuna polttoaineen energiasisältöön. [21.]

2.7 LBG

LBG (Liquified Biogas) on nesteytettyä biokaasua, ja sitä voidaan käyttää samalla tavoin kuin LNG:tä. LBG:tä syntyy myös kryojalostuksen seurauksena. Nesteytetty biokaasu vähentää hiilidioksidipäästöjä 85 % fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. [22.]

3 Maakaasuputkisto

Maakaasun siirto ja jakelu hoidetaan putkistoilla. Putkisto jaetaan kolmeen eri luokkaan käyttötarkoituksen mukaan: siirtoputkistoon, jakeluputkistoon ja käyttöputkistoon. Siirtoputkisto on putkisto, jolla siirretään maakaasua käyttöön jaettavaksi. Jakeluputkistolla maakaasua jaetaan siirtoputkistosta alennetulla paineella alueelliseen kulutukseen. Käyttöputkistolla johdetaan edelleen vähennetyllä paineella maakaasu kaasulaitteelle tai muuhun käyttöön. Suomessa siirto- ja jakeluputkistoihin liittyvä toiminta on luvanvaraista. Putkiston omistajia kutsutaan verkonhaltijoiksi ja lupa toimintaan anotaan Energiavirastolta. Käyttöputkiston omistajana on yleensä kaasun käyttöpaikan omistaja. Suomen maakaasuverkon siirtoputkiston haltija (Transmission System Operator, TSO) on Gasum Oy. Gasumilla on Kouvolassa verkoston keskusvalvomo, johon välitetään valvonta- ja hälytystiedot. Suomeen tuleva maakaasu tulee siirtoputkistoon Venäjältä Imatran vastaanottoaseman kautta. Maakaasu tulee Venäjältä kahdella siirtoputkella, jolla varmistetaan toimitusvarmuus, esimerkiksi jos putki rikkoutuu. Liityntäpiste sijaitsee Imatralla. Kaasun jakeluverkon omistajia on useampi, ja suurin niistä on Auris Kaasunjakelu Oy. [23; 24, 25.] Siirtoverkon rakenne näkyy kuvassa 9.



Kuva 9. Maakaasun siirtoverkon rakenne Suomessa [26.]

Maakaasuverkon siirtoputkiston nimellishalkaisijat ovat välillä 1000–100 mm ja laskennallinen keskimääräinen halkaisija putkistolle on 500 mm. Putket on terästä, ja suurin osa niistä on pinnoitettu polyeteenimuovilla sekä suojattu katodisella suojausjärjestelmällä korroosiota vastaan. Putkistossa on kaasun painetta nostamassa 3 kompressoriasemaa, Imatralla, Kouvolaissa ja Mäntsälässä. Siirtoputkistoon on rakennettu venttiiliasemia 8–32 km:n välein, joilla voidaan tarvittaessa katkaista kaasun siirto ja jakelu käyttäen linjasulkuventtiileitä. Putki saadaan myös tyhjennettyä kaasusta ulospuhaltamalla. Näitä venttiiliasemia on 166 kpl ja niistä 40 kpl on kaukovalvottuja. [25.]

3.1 Putkiston materiaalit

Maakaasun jakeluputkisto sijaitsee pääosin maan alla, joten putkiston täytyy olla tehty kestävästä materiaaleista, jotta kaasun siirto on loppukäyttäjälle turvallista. Putkisto maan alla voi olla teräsputkea tai muoviputkea. Maan päälle rakennettavan jakeluputkiston on oltava teräsputkea. Muoviputkena käytetään saumattomia keskikovia tai kovia PE-putkia eli polyeteeniputkia ja niiden suurin sallittu käyttöpaine riippuu materiaalista ja kohteesta. Esimerkiksi PE 80 -putkelle suurin sallittu käyttöpaine on 4 baaria ja PE 100 -putkelle 8 baaria. Myös venttiiliosat ja putkiston käyrät, haaroitukset, laipat ja supistukset ovat polyeteeniä. Muoviputkella voidaan uusia vanhaa teräsputkiverkostoa sujuttamalla uutta muoviputkea vanhan teräsputken sisään. Sujuttaminen on yksi kaivamattomista tekniikoista, poraus- ja mikrotunnelointimenetelmien ohella. Sujuttaminen säästää resursseja ja aikaa, kun uuden putken tekemiseksi ei tarvitse koko katua kaivaa auki, vain putken

alkupää ja loppupää. [5, s. 39.] Kuvassa 10 on sujutettavaa PE-putkea peräkärnyssä. Kuvan peräkärnystä sitä on helppo sujuttaa, koska PE-putki pääsee vapaasti pyörimään.



Kuva 10. Sujutettavaa PE-putkea.

Käyttöputkiston materiaalina saa olla terästä tai kuparia. Käytäntö on yleensä tehdä käyttöputkisto kuparista. Kuparista käyttöputkistoa rakennetaan joko kaasulla juottamalla tai puristusosilla. Käyttöputkiston liitoskappaleina saa käyttää vain osia, jotka on maakaasukäyttöön tarkoitettu. Esimerkiksi maakaasukäyttöön tarkoitetun Geberit Mapress -puristusosan tunnistaa keltaisesta O-renkaasta ja keltaisesta suojatulpasta. Metaanilla on ilmaa kuivattava vaikutus, joten esimerkiksi vesiputkien kupariosien tiivisteet hapertuvat maakaasun vaikutuksesta ja alkavat ennen pitkää vuotamaan. Kuvassa 11 on kuparinen Geberit Mapress -puristusosa.



Kuva 11. Kuparinen 90°:n käyrä 54 mm Geberit Mapress -puristusosa kaasun käyttöputkistolle

Kaasuasennukset ovat luvanvaraista toimintaa ja luvat asentajille myöntää Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Luvat on jaoteltu luokittain, A-kaasu, C-kaasu ja P-kaasu. PE-putkien asennukseen on myös oma pätevyysluokka. Lämmitysenergia yhdistys ry järjestää pätevyyskokeen, joka täytyy hyväksytysti suorittaa. Esimerkiksi A-kaasuluokan pätevyysvaatimukset ovat seuraavat:

Luokka A

Lämmitysenergia yhdistys ry:n järjestämän pätevyyskokeen suorittaminen ja jokin alla olevista vaihtoehdoista:

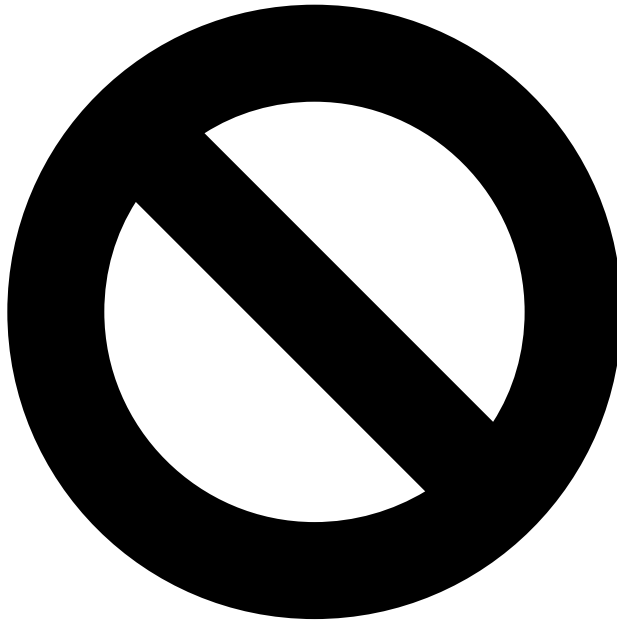
- Teknisessä oppilaitoksessa tai ammattikorkeakoulussa suoritettu soveltuva tutkinto ja vähintään kahden vuoden työkokemus kaasualalta.
- Soveltuva erikoisammattitutkinto tai ammattitutkinto ja vähintään kahden vuoden työkokemus kaasuasennuksista.
- Soveltuva ammatillinen perustutkinto ja vähintään viiden vuoden työkokemus kaasuasennuksista. [27.]

Maakaasuverkon putkistossa käytetyille osille tulee löytyä ainestodistus. Kun käytetään standardisoituja osia, niillä on oltava tunnuksia, jolla aine voidaan tunnistaa. [5, s. 26.]

3.2 Maakaasuverkon rakenne Helsingissä

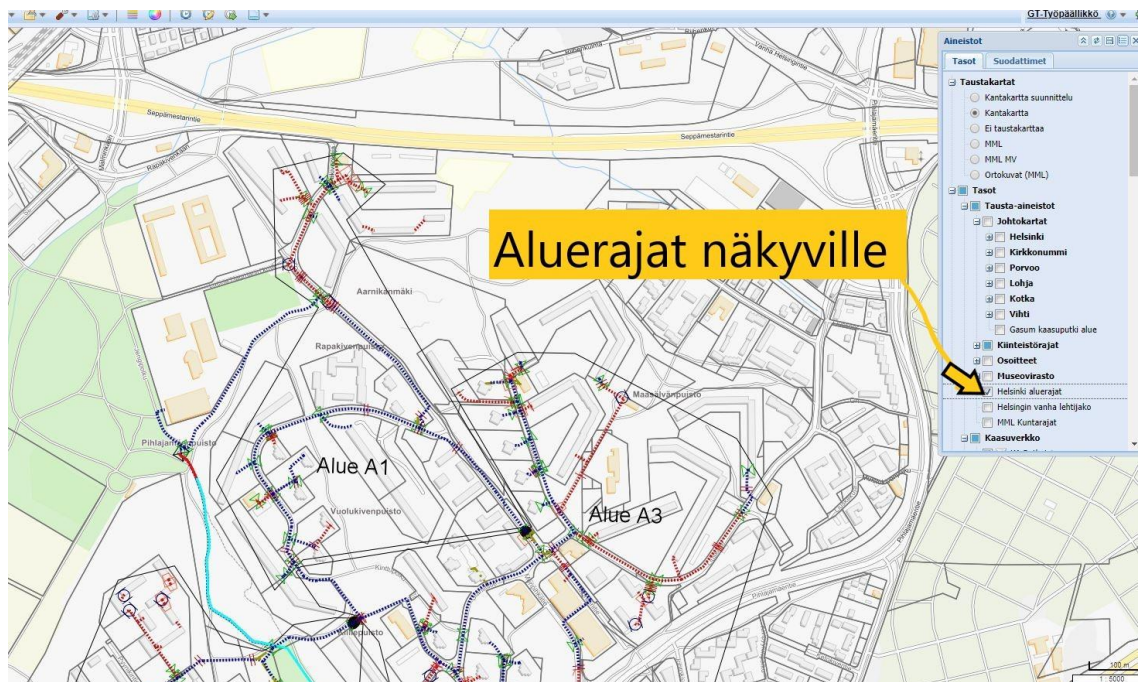
Maakaasuverkko Helsingissä on jaettu alueisiin. Alueet on jaoteltu aakkosjärjestykseen, ja alueiden määrä on 74. Alueet erotetaan sulkuventtiilein toisistaan. Jakeluputkiston kilometrimäärää ja putkiston laatua seurataan kirjaamalla kaikki korjaus- ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä tehdyt putkistomuutokset aluekohtaisesti eli saneeraukset ja käytöstä poistettavat putkiosuudet. [28, s. 1.]

Alueista on olemassa fyysiset kartat, joista näkee helposti alueen mittaukseen tarvittavat venttiilit. Käytössä on myös KeyPro-karttaohjelma, joka on tukemassa fyysisiä karttoja. Kuvassa 12 Salattu



Kuva 12. Salattu

Kuvassa 13 näkyy kuvan 12 Salattu KeyPro-karttaohjelmassa. KeyPro-karttaohjelmassa pitää itse laittaa aluerajat näkyville.



Kuva 13. KeyPro-karttaohjelmassa alue A1 ja A3

Paineenvähennysasemia on 135 kpl. Paineenvähennysasemia on erikokoisia, ja pienempiä kutsutaan paineenalennuskaapeiksi, jotka ovat sähkökaappien kokoisia. Suurimmat paineenvähennysasemat voivat olla pienen omakotitalon kokoisia. Alueet pitävät sisällään myös alueellisessa ylimitauksessa tarvittavat paineenalennuskaapit, ja siitä on kartassa maininta. Suuremmilla paineenvähennysasemilla myös syötetään verkkoon kaasun hajusteaine, THT. [7, s. 2; 25.] Kuvassa 14 näkyy paineenalennuskaappi sisältä.



Kuva 14. Paineenalennuskaappi sisältä

4 Salattu

4.1 Salattu

4.2 Salattu

4.3 Salattu

4.4 Salattu

4.5 Salattu

5 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoitus oli tehdä työohje alueellisen ylimittauksen suorittamiseksi ja samalla kertoa maakaasusta, biokaasusta ja niiden ominaisuuksista. Työssä on käyty läpi myös maakaasuverkon rakenne ja osittaiset huoltotoimenpiteet. Työssä käydään läpi lyhyesti biokaasun tuotanto ja jalostus. Suomessa ei biokaasua vielä tuoteta kovin paljoa sen potentiaaliseen tuottoon nähden. Esimerkiksi liikenteen päästöjen vähentämistavoitteen saavuttamiseen biokaasulla voidaan korvata perinteisiä fossiilisia polttoaineita. Suomen Biokaasuyhdistys ry on arvioinut, että biokaasun osuus liikenteessä voisi olla n. 2,5 TWh vuoteen 2030 mennessä ja n. 10 TWh vuonna 2045. Maatalouden biokaasun tuotantoa on mahdollista lisätä tulevaisuudessa. Suomessa maatalous- ja puutarhayrityksiä oli vuonna 2018 n. 47 700 kpl ja vuoden 2018 lopulla 20 kpl näistä tuotti biokaasua. [12; 30.]

Alueellisen ylimittauksen suorittamiseen tarvittavat ohjeet on kirjoitettu johdonmukaisesti, ja ohjeella pystytään suorittamaan mittaus alusta loppuun saakka. Insinöörityön liitteinä ovat maakaasuputkiston jakeluputkiston kunnossapito-ohjelma, käyttöohjeet Salattu -mittauslaitteelle, sekä Sewerin EX-TEC SR5 -vuotoilmaisimelle.

Lähteet

- 1 Chen, James. 2018. Cracking. Verkkoaineisto. Investopedia. <<https://www.investopedia.com/terms/c/cracking.asp>>. Luettu 15.2.2019.
- 2 Alakangas, Eija; Hurskainen, Markus; Laatikainen-Luntama, Jaana & Korhonen, Jaana. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. 2016. Verkkoaineisto. VTT. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>>. Luettu 24.1.2019.
- 3 Gas and oil reserves. Verkkoaineisto. Gazprom. <<http://www.gazprom.com/about/production/reserves/>>. Luettu 8.3.2019
- 4 Sawe, Benjamin Elisha. 2018. The Largest Natural Gas Fields In The World. Verkkoaineisto. Worldatlas. <<https://www.worldatlas.com/articles/the-largest-natural-gas-fields-in-the-world.html>>. Luettu 5.3.2019.
- 5 Maakaasukäsikirja. 2014. Verkkoaineisto. Suomen Kaasuyhdistys. <<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>>. Luettu 3.1.2019.
- 6 Tetrahydrothiophene. Verkkoaineisto. U.S. National Library of Medicine. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/tetrahydrothiophene#section=Exposure-Routes>>. Luettu 25.3.2019.
- 7 Maakaasutoimitusten yleiset ehdot. 2012. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/VAHVISTETTU_M2010_Maakaasutoimitusten_Yleiset_Ehdot_2012.pdf/6afad256-c952-416b-a390-eb14809e1f68>. Luettu 3.1.2019.
- 8 Kolppanen, Reetta; Kuokkanen, Matti & Kuokkanen, Toivo. NESTEIDEN JA KIINTEIDEN AINEIDEN LÄMPÖARVOJEN MÄÄRITYS. Verkkoaineisto. Oulun Yliopisto; Kannuksen Metsäntutkimuslaitos. <http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/ekopelletti_info_220611.pdf>. Luettu 5.3.2019.
- 9 Leikas, Timo. BIOKAASUN KOOSTUMUS JA RIKKIVETYYPITOISUUDEN HALLINTA. 2015. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Insinöörityö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90984/Leikas_Timo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 5.3.2019.
- 10 Chemical Composition of Natural Gas. Verkkoaineisto. Uniongas. <<https://www.uniongas.com/about-us/about-natural-gas/chemical-composition-of-natural-gas>>. Luettu 6.3.2019.
- 11 Biokaasu – uusiutuvaa kotimaista energiaa. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/>>. Luettu 6.3.2019.

- 12 Virolainen-Hynnä, Anna. Kannanotto: Biokaasuyhdistys kannattaa liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän toimenpideohjelman toteuttamista. 2018. Verkkoaineisto. Suomen Biokaasuyhdistys ry. <<http://www.biokaasuyhdistys.net/biokaasuyhdistys-kannattaa-liikenteen-ilmastopolitiikan-tyoryhman-toimenpideohjelman-toteuttamista/>>. Luettu 10.3.2019.
- 13 Kaasuautojen määrä lähes tuplaantui Suomessa – tässä syyt huimaan suosioon. 2019. Verkkoaineisto. Helsingin Uutiset. <<https://www.helsinginuutiset.fi/artikkeli/737689-kaasuautojen-maara-lahes-tuplaantui-suomessa-tassa-syyt-huimaan-suosioon/>>. Luettu 25.3.2019.
- 14 Orgaanisia lannoitevalmisteita läheltä. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/Yrityksille/kaasu-ja-kiertotalousratkaisut/lannoitteet/>>. Luettu 10.3.2019.
- 15 Maakaasun siirtoverkosto Suomessa. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/kaasusta/suomen-kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/>>. Luettu 10.2.2019.
- 16 Biokaasu. 2019. Verkkoaineisto. Demeca Oy. <<https://demeca.fi/biokaasu/>>. Luettu 10.3.2019.
- 17 Biokaasu ja maatilat. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Biokaasuyhdistys ry. <<http://www.biokaasuyhdistys.net/tietoa-biokaasusta/biokaasu-ja-maatilat/>>. Luettu 11.3.2019.
- 18 Biokaasun jalostus biometaaniksi. 2019. Verkkoaineisto. Biokaasuauto.fi. <<https://www.biokaasuauto.fi/biokaasu/biokaasusta-biometaanina/>>. Luettu 8.3.2019.
- 19 Kaffka, Stephen R.; Ong, Matthew D.; Williams, Robert B. DRAFT Comparative Assessment of Technology Options for Biogas Clean-up. 2014. Verkkoaineisto. California Biomass Collaborative University of California. <https://biomass.ucdavis.edu/files/2015/10/Biogas-Cleanup-Report_FinalDraftv3_12Nov2014-2.pdf>. Luettu 8.3.2019.
- 20 Raskas liikenne siirtyy kaasun aikakauteen: Pohjoismaihin 50 tankkausaseman verkosto. 2018. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2018/raskas-liikenne-siirtyy-kaasun-aikakauteen-pohjoismaihin-50-tankkausaseman-verkosto/>>. Luettu 20.2.2019.
- 21 Compressed Natural Gas (CNG) as fuel. Verkkoaineisto. CTCN. <<https://www.ctcn.org/technology-library/transport/vehicle-and-fuel-technologies/compressed-natural-gas-cng-fuel/>>. Luettu 17.4.2019.

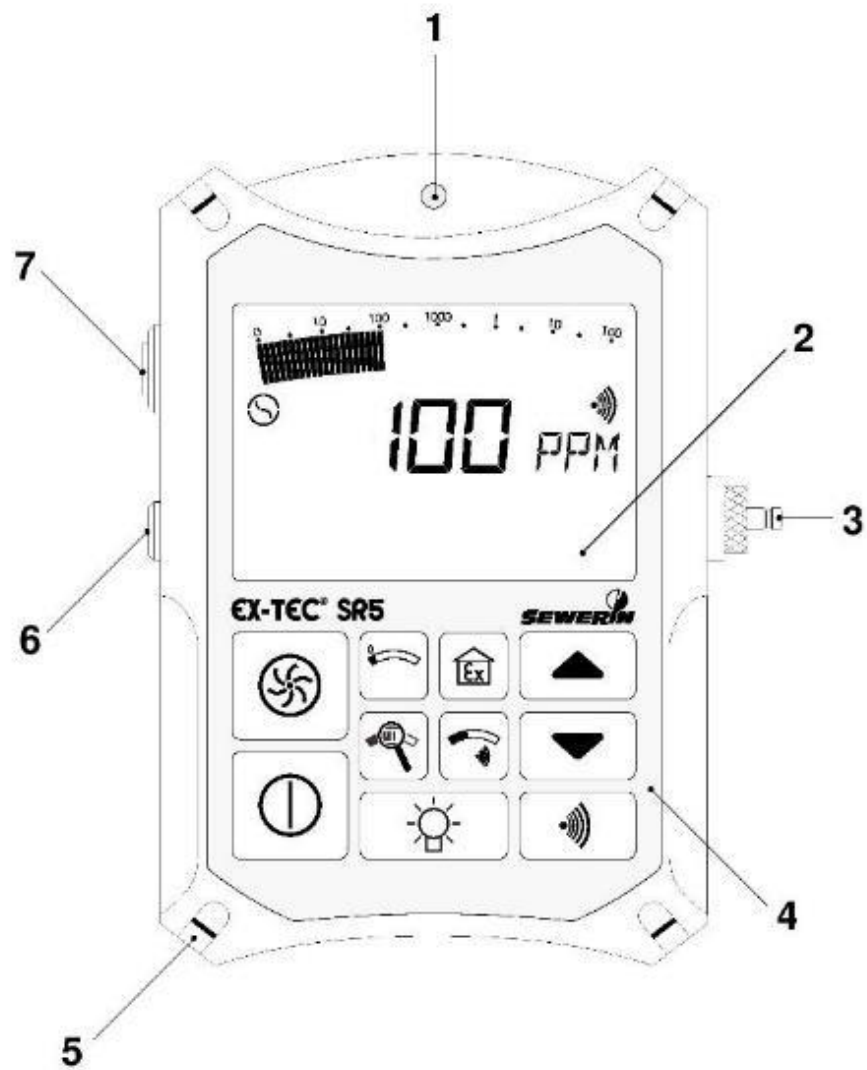
- 22 Gas offers solutions to lower transport emissions in Sweden. 2019. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/en/insights/sustainable-traffic/2019/gas-offers-solutions-to-lower-transport-emissions-in-sweden/>>. Luettu 16.2.2019.
- 23 Gasumilla järjestelmävastuu maakaasun siirtojärjestelmässä. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/kaasusta/suomen-kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/jarjestelmavastuu/>>. Luettu 1.2.2019.
- 24 Auris Kaasunjakelu Oy. Verkkoaineisto. Suomen Kaasuenergia. <<https://suomen-kaasuenergia.fi/kaasunjakelu>>. Luettu 1.2.2019.
- 25 Kaasun siirtoverkoston infrastruktuuri. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/kaasusta/suomen-kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/kaasun-siirtoverkoston-infrastruktuuri/>>. Luettu 5.2.2019.
- 26 Maakaasun siirtoverkosto Suomessa. Verkkoaineisto. Gasum Oy. <<https://www.gasum.com/kaasusta/suomen-kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/>>. Luettu 1.2.2019.
- 27 Hyväksytyn liikkeen vastuuhenkilön pätevyysvaatimukset. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tukes. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/hyvaksytyt-liikkeet/vastuuhenkilon-patevyysvaatimukset>>. Luettu 8.3.2019.
- 28 Salattu
- 29 Salattu
- 30 Kyyrä, Jaana. Maatilojen määrä väheni 48 000:een. 2019. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus, Luke. <<https://www.luke.fi/uutiset/maatilojen-maara-vaheni-48-000een/>>. Luettu 13.3.2019.

Salattu

Salattu

Sewerin EX-TEC SR5 käyttöohje

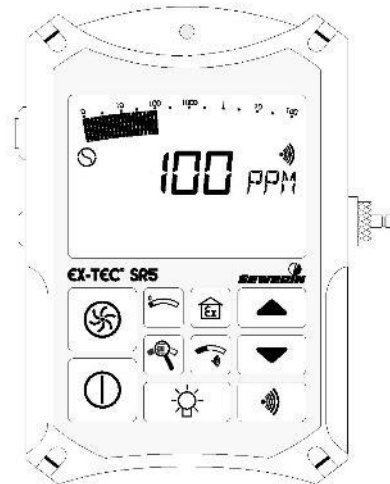
Design of the: **EX-TEC® SR5**



Contents	page
For your safety	4
1.0 The EX-TEC® SR5, SR4, SR2 and VARIOTEC® 8 models	6
1.1 Tests	8
1.2 Probe systems	9
2.0 Measuring operation.....	11
2.1 Switching on	11
2.2 Illumination and contrast	12
2.3 Pump operation	13
2.4 Alarm signal and volume	14
2.5 Alarm threshold value	14
2.6 Switching measuring ranges	15
2.7 Zero-point adjustment	16
2.8 Workplace monitoring	16
2.9 Battery alarm	18
2.10 Switching off	18
3.0 Charging technique.....	19
4.0 Inspection, testing and maintenance.....	21
4.1 Test sets	22
4.2 Test gases	24
4.3 Function testing	25
5.0 Adjustment.....	26
6.0 Technical specifications.....	34
7.0 Technical data.....	37
8.0 Accessories.....	39
9.0 Error messages	40
10.0 Parts subject to wear	42
EC-Type Examinations Certificate.....	43
Declarations of conformity	47
Test reports.....	51

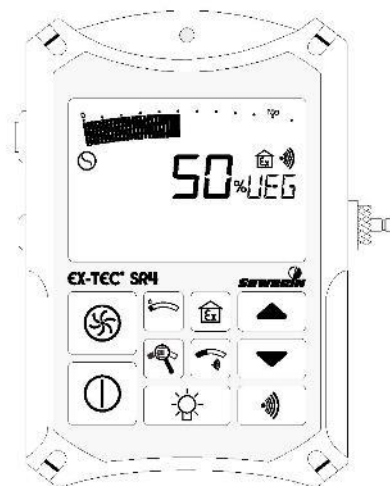
1.0 The EX-TEC[®] SR5, SR4, SR2 and VARIOTEC[®] 8 models

This family of detectors consists of a total of four combined detectors for the following uses:



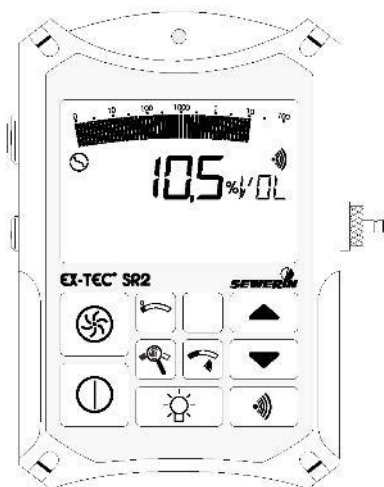
EX-TEC[®] SR5 (Ex-protected)

- **Gas detection**
above-ground gas detection for pipeline monitoring (ppm range)
- **Interior installations**
leak detection for pipelines in buildings (ppm range)
- **Workplace monitoring**
monitoring proximity to the Lower Explosive Limit (%LEL range)
- **Location**
concentration measurement in probe holes (vol.% range)
- **Gasing and inertisation**
concentration measurement in pipelines (vol.% range)



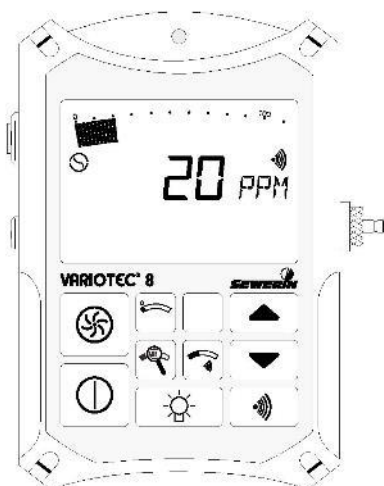
EX-TEC[®] SR4 (Ex-protected)

- **Workplace monitoring**
monitoring proximity to the Lower Explosive Limit (%LEL range)
- **Location**
concentration measurement in probe holes (vol.% range)
- **Gasing and inertisation**
concentration measurement in pipelines (vol.% range)



EX-TEC® SR2 (Ex-protected)

- **Location**
concentration measurement in probe holes (vol.% range)
- **Gasing and inertisation**
concentration measurement in pipelines (vol.% range)

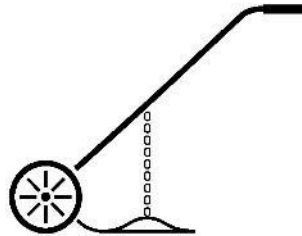


VARIOTEC® 8

- **Gas detection**
above-ground gas detection for pipeline monitoring (ppm range)
- **Location**
concentration measurement in probe holes (vol.% range)

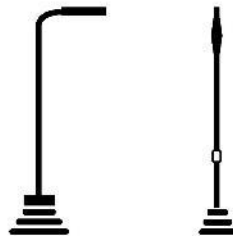
1.2 Probe systems

- Probes for the survey of gas distributions networks -



Carpet probe

for checking stable surfaces.
The sample is drawn into an excrescence in a neoprene mat in contact with the surface with no extraneous emissions.



Bell probe, telescopic bell probe

for checking unstable and overgrown surfaces.
It can be used in confined spaces, e.g. between parked cars or in front gardens.

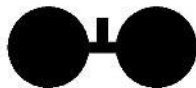
- Probes for localisation -



Search probe

for measuring concentrations in probe holes,
with a rigid rubber cone to seal off the probe hole,
2 different probe tips (length 245 mm or 345 mm),
carbon-dioxide filter to filter out traces of CO₂

- Probes for hollow spaces -



Floating probe

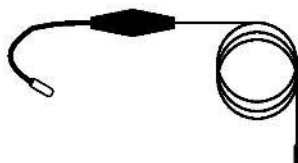
for measuring concentrations in pits,
with suction vent and hose connection



Divisible handprobe

for the detection of leaks in pipes installed in poorly accessible places, measuring of concentration in containers, overall length 900 mm

- Probes for house service lines -



Flexible hand probes

for the detection of leaks in house service lines, handle with flexible swan neck and probe hose, overall lengths 360 mm or 660 mm



Except with the carpet probe , a probe hose should always be used with a hydrophobic filter !

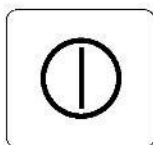
2.0 Measuring operation



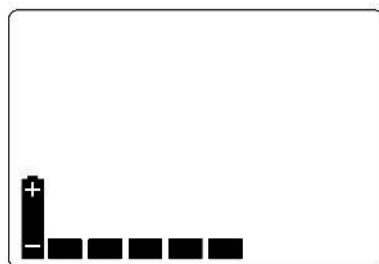
Please fold out the illustration inside the front cover !

<u>Item</u>	<u>Description</u>	<u>Function</u>
1	alarm lamp	optical warning when alarm thresholds are exceeded
2	LCD display	display of gas concentrations and operating conditions
3	probe connection	connection to the probes described
4	buttonboard	operating the detector
5	harness	for portable systems
6	outlet	for gas sample
7	buzzer	acoustic warning when alarm thresholds are exceeded

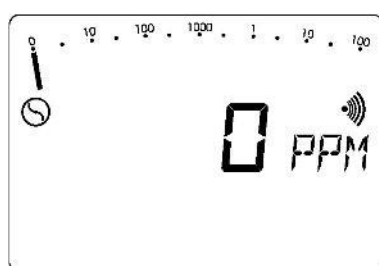
2.1 Switching on



- press the **on/off button** (gas-detection mode) or **WPM button** (workplace-monitoring mode, p. 16 ff.) for approx. 2 seconds
- optical and acoustic control signal (items 1 and 7) operate for approx. 2 seconds



- display of available operating hours in the form of bars (e.g. 5 hours)
- the integral pump operates at maximum power



- wait until the zero point has established itself in fresh air (approx. 2-3 minutes):

EX-TEC® SR5 and **VARIOTEC® 8**:

0 PPM

(after flashing stops)

EX-TEC® SR4 and **EX-TEC® SR2**:

0,0 %VOL

2.2 Illumination and contrast



- pressing the **light button** switches the LCD illumination on and off

- the illumination automatically switches off approx. 4 minutes after being switched on

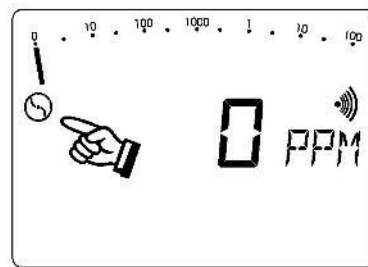


- simultaneously pressing the light button **and** a cursor button increases or reduces the contrast of the LCD display


2.3 Pump operation



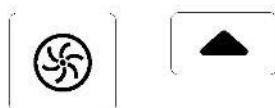
- pressing the **pump button** switches the pump on and off




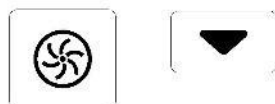
- the corresponding symbol appears in or disappears from the LCD display (item 2)
- this enables the pump function to be checked


 **Altering the pump power**
(available only on the EX-TEC[®] SR5) I

- simultaneously pressing the pump button **and** one cursor button increases or reduces the pump power



 **gas detection**
for above-ground gas detection (pipeline monitoring) always use **maximum pump power**

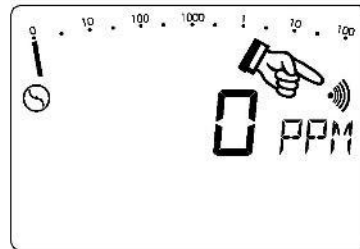


 **house service lines**
for detecting leaks in pipelines inside buildings always use **minimum pump power**

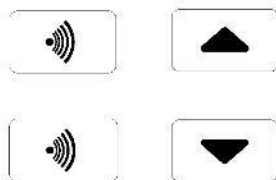
2.4 Alarm signal and volume



- pressing the **signal button** switches the alarm signal on and off



- the corresponding symbol appears in or disappears from the LCD display (item 2)
- this enables the alarm signal to be checked

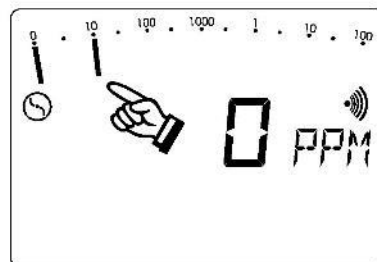


- simultaneously pressing the signal button **and** one cursor button increases or reduces the buzzer volume (item 7)

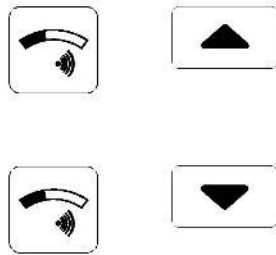
2.5 Alarm threshold value



- when the **threshold value button** is held down

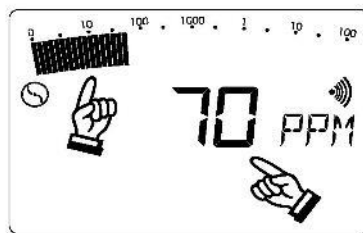


- the alarm threshold value (e.g. 10 PPM) flashes in the full-range display



- holding down the threshold value button **and** repeatedly pressing one cursor button increases or reduces the alarm threshold value
- this value is preserved even when the detector is switched off

2.6 Switching measuring ranges



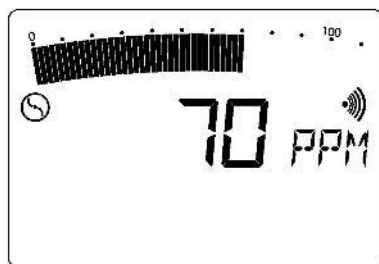
- all detectors have an **analogue display** (above, full range) **and** a **digital display** (below); both scales indicate the same concentration (e.g. 70 PPM)

- the **full range** is a logarithmic scale covering the range:
0 PPM ... 100 %VOL

- here the display of low concentrations is intensified; the measurement result can be read off from the digital display



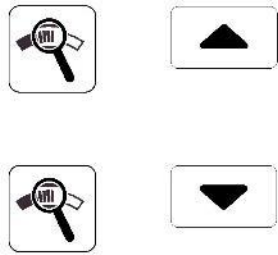
- repeatedly pressing the **zoom button** switches between the **full** and **optimum ranges**



- depending on the concentration, switching between the following measurement ranges is **automatic**:

0 ... 10 PPM	0 ... 1 %VOL
0 ... 100 PPM	0 ... 10 %VOL
0 ... 1,000 PPM	0 ... 100 %VOL

- the optimum measurement range in this example is 0 ... 100 PPM



- repeatedly pressing one of the cursor buttons while holding down the zoom button switches manually to the required display range

2.7 Zero-point adjustment



- if the detector fails to reach its zero point of **0 PPM** or **0,0 %VOL** after flushing with copious fresh air, pressing the **zero point button** enables you to adjust it manually
- the reading display flashes while the adjustment is being carried out
- measurement cannot be resumed until **after** the flashing stops

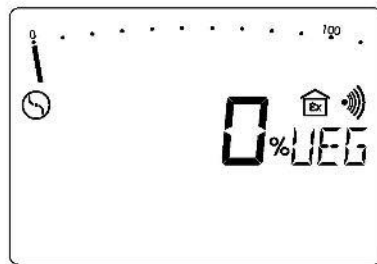
2.8 Workplace monitoring



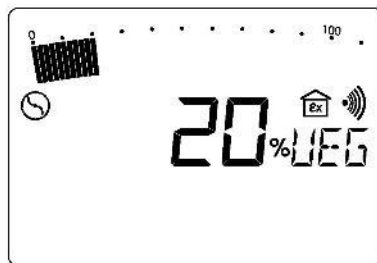
This function is available only with the EX-TEC[®] SR5 and EX-TEC[®] SR4 detectors !



- this function is switched on by pressing the **WPM (workplace monitoring) button**
- the detector can also be switched on by pressing this button



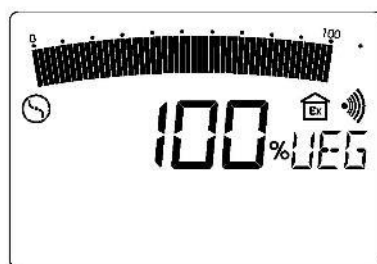
- this measuring range is used to monitor proximity to the **LEL** (**l**ower **e**xplosion **l**imit)
- after approx. 8 seconds' warm-up time a stable zero point is reached
- the pump runs at minimum power and the acoustic operating signal (item 7) sounds every 5 seconds



- when the pre-set threshold of 20 %LEL is exceeded
- methane:** 20 %LEL = 0,88 %VOL
(display = 0,90 %VOL)
- propane:** 20 %LEL = 0,34 %VOL

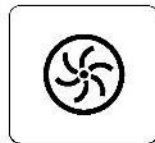
the **advance alarm** is triggered both optically (item 1) and acoustically (item 7)

- the advance alarm is an intermittent tone quite distinct from the operating signal; it **ceases after a certain period** and cannot be cleared



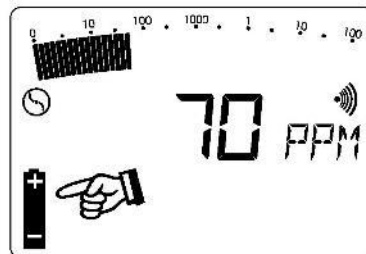
- if the concentration exceeds 100 %LEL
- methane:** 100 %LEL = 4,40 %VOL
- propane:** 100 %LEL = 1,70 %VOL

the **main alarm** is triggered optically (item 1) and acoustically (item 7)



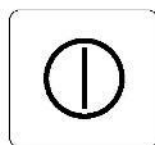
- the main alarm is a continuous tone quite distinct from the operating signal; it **continues indefinitely** and cannot be cleared
- **Cancelling the main alarm:** switch to location operation (press the pump button for approx. 2 seconds) or switch the detector off

2.9 Battery alarm




- if the battery symbol appears in the LCD display, at least 15 minutes' operating time remains; after that the detector must be recharged
- in workplace-monitoring mode the battery alarm is accompanied by a "double beep" to distinguish it from the operating signal

2.10 Switching off



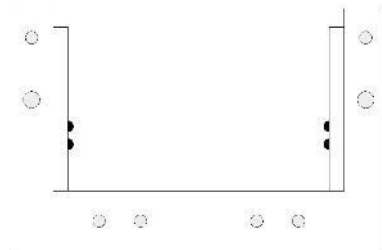
- Press the **on/off button** for approx. 2 seconds
- the optical and acoustic monitoring signals (items 1 and 7) operate for approx. 2 seconds
- remaining operating hours are displayed in the form of bars

3.0 Charging technique

 **The EX-TEC[®] SR5, SR4, SR2 and VARIOTEC[®] 8 detectors must not be recharged in an explosive gas atmosphere !**

When fully charged the detectors have a **maximum** of 8 hours' operating time with the pump running.

For charging you need the **HS charging adapter** (see illustration), which can be used either in the workshop or in the standby vehicle.



The following items can be connected to the side of the charging adapter:

- 230 V mains power pack ≈,
- 12 V= vehicle adapter,
- 24 V= vehicle adapter.

Charging

Switch the detector off and plug it into the charger. A display of the following type appears:



- the detector has 5 operating hours left (= 5 bars) and will take 3 hours to become fully charged
- if it is fully charged all the bars are visible and the number display disappears
- the detector can be left in the charger until it is next needed

Spontaneous discharge

If the detector is not connected to the charger when switched off, the nickel-cadmium battery spontaneously discharges, thus reducing the available operating hours.

After a maximum of 30 days the detector indicator shows that there are no operating hours left, and it must be recharged.



Short periods of operation and prolonged disuse may lead in the long term to the so-called "memory effect", in which the display indicates a higher battery capacity than is actually available. This can be avoided by fully discharging -the detector regularly (e.g. once a month), leaving it switched on until it automatically switches off, then recharging it!

4.0 Inspection, testing and maintenance

DVGW work sheet G 465/IV requires detectors to be inspected, tested and maintained.

Sensitivity testing

may be necessary several times a day, according to G 465/I, depending on the circumstances - particularly with gas detectors used to monitor mains pipes.

Inspection

must be carried out up to six times a year, depending on frequency of use - and at any rate at least once a year. The following items must be tested:

- detector condition
- battery condition
- intake channel
- pump power
- zero point
- sensitivity (with test gas)



Workplace monitoring mode:

For your own safety you are recommended always to check the %LEL range with test gas before use and recalibrate if necessary (instruction sheet T 031 / BG Chemie) !

Test report

Test results must be recorded. A specimen form will be found on the last page of this manual.

Servicing and maintenance

DVGW work sheet G 465/IV specifies that servicing and maintenance of the detectors may be carried out only by the following persons:

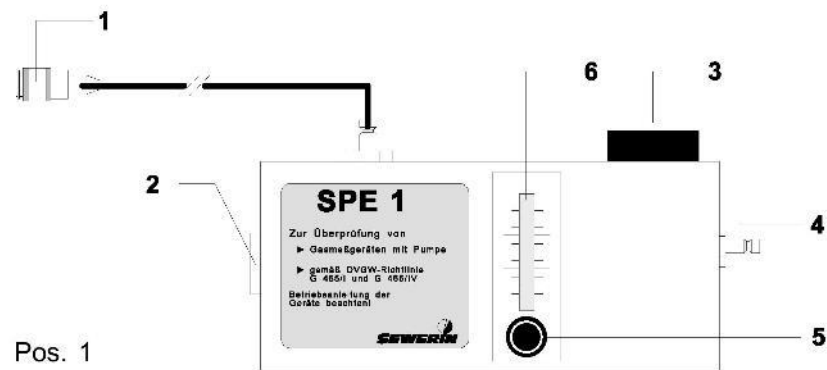
- the SEWERIN Service Department or
- an expert authorised by SEWERIN.

Servicing must be carried out at least once a year. The next scheduled date must be entered on the inspection sticker attached to the detector (month/year).

After servicing a certificate must be completed.

4.1 Test sets

Pump power, zero point and sensitivity should be tested with an **SPE 1** or **SPE 3** test set and a suitable test gas:

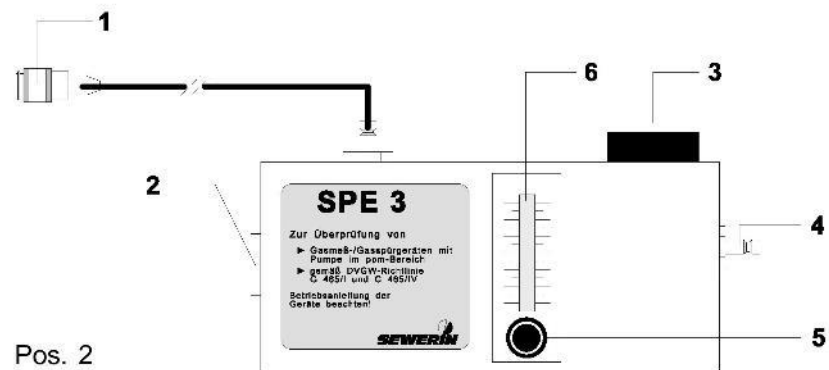


SPE 1 test set, used to test:

- pump power
- zero point in the **%LEL and %VOL range**
- sensitivity in the **%LEL and %VOL range**

and for use with the following test gases:

- methane CH_4 :
 - 1.00 vol.%
 - 2.20 vol.% (50 %LEL)
 - 100 vol.%
- propane C_3H_8 :
 - 1.00 vol.% (59 %LEL)
 - 100 vol.%



SPE 3 test set, used to test:

- pump power
- zero point in the **PPM range**
- sensitivity in the **PPM range**

and for use with the following test gases:

- methane CH₄:
- 10 ppm
 - 100 ppm
 - 1,000 ppm

4.2 Test gases

The following test gases were used to function-test the detectors:

		methane CH ₄	propane C ₃ H ₈
EX-TEC® SR5	ppm range	10 ppm CH ₄ 100 ppm CH ₄ 1,000 ppm CH ₄ 1.00 vol.% CH ₄	
	%LEL range	2.20 vol.% (50 %LEL)	1.00 vol.% (59 %LEL)
	vol.% range	100 vol.% or location natural gas	100 vol.%
EX-TEC® SR4	%LEL range	2.20 vol.% (50 %LEL)	1.00 vol.% (59 %LEL)
	vol.% range	100 vol.% or location natural gas	100 vol.%
EX-TEC® SR2	vol.% range	100 vol.% or location natural gas	100 vol.%
VARIOTEC® 8	ppm range	10 ppm CH ₄ 100 ppm CH ₄ 1,000 ppm CH ₄ 1.00 vol.% CH ₄	
	vol.% range	100 vol.% or location natural gas	100 vol.%

For detector settings other than methane or propane the correct values can be found inside the cover on page 2.

4.3 Function testing

Proceed as follows:

- screw the selected test-gas bottle onto the test set as far as it will go (illustration 1/2 - item 2)
- connect the detector's probe nipple (item 3) to the test set hose (illustration 1/2 - item 1)
- switch the detector on; the pump draws in **fresh air** through the test set (illustration 1/2 - item 4)
- use the needle valve (illustration 1/2 - item 5) to set the maximum flow; it must be > 50 l/h (illustration 1/2 - item 6)
- wait until a stable zero point has been established (warm-up time)
- press the release button (illustration 1/2 - item 3) on the test set and adjust the flow to the fresh-air value (illustration 1/2 - item 6)
- hold it down until the indicated concentration has reached a stable value

Admissible display values for methane CH₄ test gas:

- test gas 10 ppm : > 5 ppm
- test gas 100 ppm : 70 ... 140 ppm
- test gas 1,000 ppm : 800 ... 1,200 ppm
- test gas 1.00 vol.% : 0.80 ... 1.20 vol.%,
- test gas 2.20 vol.% : 2.00 ... 2.40 vol.% (45 - 55 %LEL)
- test gas 100 vol.% : 98 ... 102 vol.%

Admissible display values for propane C₃H₈ test gas:

- test gas 1.00 vol.% : 0.90 ... 1.10 vol.% (55 - 64 %LEL)
- test gas 100 vol.% : 98 ... 102 vol.%

If display values are outside these tolerances the detector must be recalibrated (section 5.0 Adjustment).

5.0 Adjustment

EX-TEC™ SR5, SR4, SR2 and **VARIOTEC™ 8** detectors are factory-set for all measuring ranges.

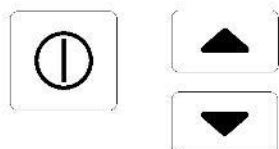
You can adjust each of the ranges using appropriate test gases (one for each range).



All the following adjustment steps are shown on an EX-TEC™ SR5 detector; they are identical for all other models !

Testing procedure

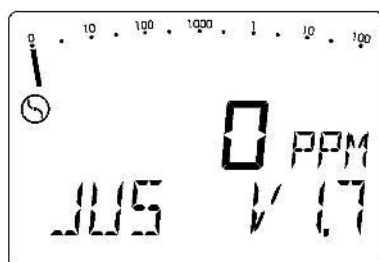
Connect your detector (switched off) to the **SPE 1** or **SPE 3** test set and a test gas .



- now press these 3 buttons simultaneously

Display 1 - version number / zero point

Once the number of available operating hours has been displayed the detector is in **adjustment mode**:



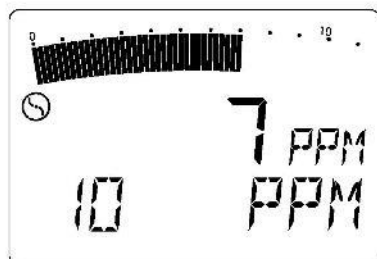
- the software version number (e.g. V1.0) is displayed and the pump runs at maximum power
- the reading display flashes until the zero point of the sensor has been automatically established



- once the zero point has been set, press the cursor-up button to move to the next display

Display 2 - 10 ppm adjustment

Now release the **10 ppm methane CH₄ test gas** from the **SPE 3** test set.



- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- turn off the test-gas feed



- press the cursor-up button to move to the next display

Display 3 - 100 ppm adjustment

Now release the **100 ppm methane CH₄ test gas** from the **SPE 3** test set.



- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- turn off the test-gas feed



- press the cursor-up button to move to the next display

Display 4 - 1,000 ppm adjustment

Now release the **1,000 ppm methane CH₄ test gas** from the **SPE 3** test set.



- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- turn off the test-gas feed



- press the cursor-up button to move to the next display



NB: change the test set !

Display 5 - 1.00 vol.% adjustment

Now release the **1.00 vol.% methane CH₄ test gas** from the **SPE 1** test set.



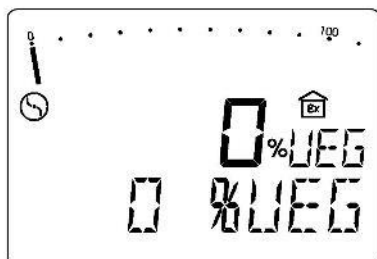
- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- turn off the test-gas feed



- press the cursor-up button to move to the next display

Display 6 - 0 %LEL adjustment

Now set the zero point of the %LEL range with **fresh air** using the **SPE 1** test set.



- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)



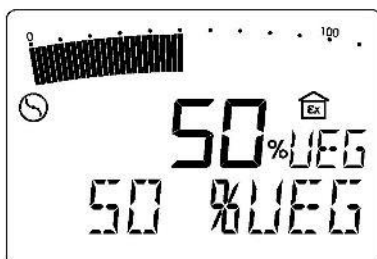
- press the cursor-up button to move to the next display

Display 7 - 50 %LEL or 59 %LEL adjustment

Now release:

2.20 vol.% methane CH₄ test gas = 50 %LEL or
1.00 vol.% propane C₃H₈ test gas = 59 %LEL

via the **SPE 1** test set.



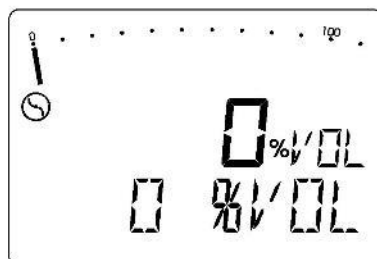
- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- turn off the test-gas feed



- press the cursor-up button to move to the next display

Display 8 - 0 vol.% adjustment

Now set the zero point of the vol.% range with **fresh air** using the **SPE 1** test set.



- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)



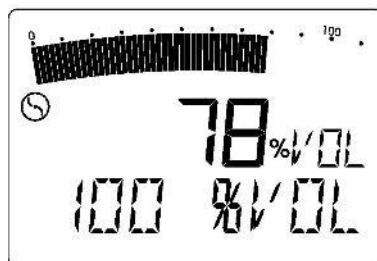
- press the cursor-up button to move to the next display

Display 9 - 100 vol.% adjustment

Now release the

100 vol.% methane CH₄ or
100 vol.% propane C₃H₈ test gas

via the **SPE 1** test set. This requires a steel test-gas bottle with pressure reducer and connecting hose.



- wait until the display has stabilised
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- turn off the test-gas feed



- press the cursor-up button to move to the next display

You can also set the detector to your local natural gas:



- switch the pump off
- admit the natural gas directly to the detector (not via the test set) and wait for the display to reach a stable value
- confirm the adjustment with the on/off button (**OK** appears in the LCD display) and switch the pump on again

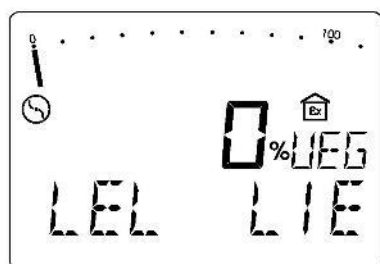


- press the cursor-up button to move to the next display

Display 10 - %LEL range language

Repeatedly pressing the on/off button enables you to select among the following displays in the %LEL range:

- %UEG** - **U**ntere **E**xplosion**s**grenze (German)
- %LEL** - **L**ower **E**xplosive **L**imit (English)
- %LIE** - **L**imite **I**nférieure d'**E**xplosion (French)
- %VOL** - concentration display in vol.% (German/English)
- %GAZ** - concentration display in vol.% (French)



- confirm the display e.g. **%UEG** with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- this display is retained even when the detector is switched off



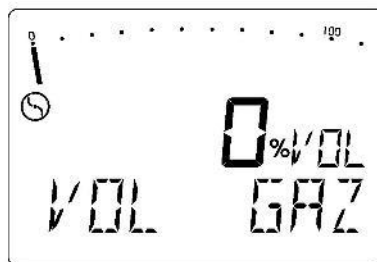
- press the cursor-up button to move to the next display

¶

Display 11 - %VOL range language

By repeatedly pressing the on/off button you can choose between the following displays in the vol.% range:

- %VOL** - concentration display in vol.% (German/English)
- %GAZ** - concentration display in vol.% (French)



- confirm the display, e.g. **%VOL**, with the on/off button (**OK** appears in the LCD display)
- this setting is retained even when the detector is switched off



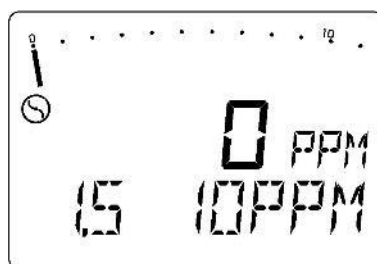
- press the cursor-up button to move to the next display

Display 12 - 10 PPM sensitivity

Synthetic or fresh air is used for the zero-point adjustment, you must always achieve sensitivity of > 5 ppm when using 10 ppm methane CH₄ test gas.

To this end you can select from the following amplification ratios in the 10 ppm range by repeatedly pressing the on/off switch:

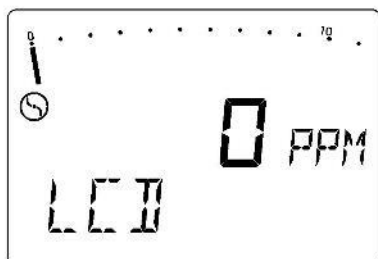
- 1,0 x 10 PPM** - 100% amplification
- 1,2 x 10 PPM** - 120% amplification
- 1,5 x 10 PPM** - 150% amplification (factory setting)



- confirm the selected amplification (e.g. **1,5 x 10 PPM**) with the on/off button

Display 13 - LCD check

With this function you can check whether all elements of the LCD display are operating normally.



- confirm the LCD check with the on/off button



- press the cursor-up button to return to the first display

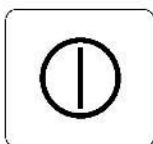
Leaving adjustment mode



- press the pump button to return to **gas-detection mode** or



- press the WPM button to return to **workplace-monitoring mode** or

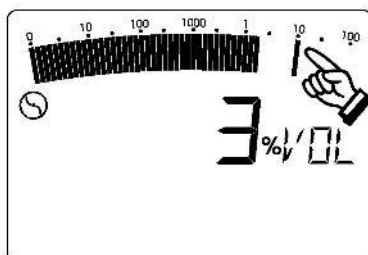


- press the on/off button to switch the detector off.

6.0 Technical specifications

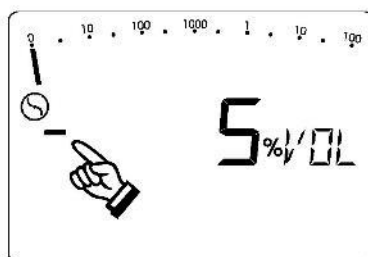
Maximum pointer

To facilitate the comparison of different gas concentrations, the maximum value is displayed by a flashing **maximum pointer**.



- this remains in the LCD display (item 2) for about 4 minutes unless updated by a higher concentration
- pressing the zoom button makes the maximum pointer disappear

Heavy gas



- a negative sign in the measuring-value display indicates a mixture of light and heavy gas in which the heavy gas (e.g. propane C_3H_8 or carbon dioxide CO_2) predominates.
- if it is carbon dioxide, we recommend the use of a CO_2 filter (accessories) to suppress this heavy-gas component

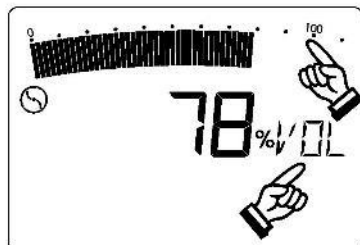
Oxygen concentration

In order to guarantee electrical safety the detectors may not be used in an oxygen concentration exceeding 21 vol.%.

An oxygen deficiency may lead to deviations from the correct reading. At oxygen concentrations between 20.9 vol.% and 5 vol.% this deviation is less than 5 %.

Gasing and Inertisation

To carry out gasing (concentration increase to 100 vol.%) or inertisation (concentration reduction to 0 vol.%) proceed as follows:

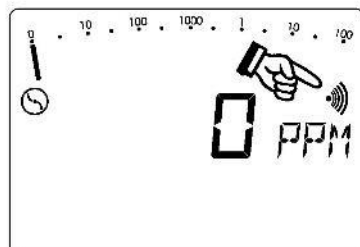


- manually select the **0...100 %VOL measuring range** with the zoom button and the cursor buttons
- this is the only measuring range in which gasing and inertisation can be unambiguously monitored

Automatic alarm reset



- if the signal button has been pressed to deactivate an alarm, the alarm signal is automatically reset after approx. 60 seconds



- the corresponding symbol reappears in the LCD display (item 2)
- this is intended to stop you forgetting that the alarm signal has gone off

Cleaning

Clean the detectors only with a damp cloth. No solvents, benzenes or similar substances may be used !

Static charging

Generally speaking electrostatic charging should be avoided. Objects with no electrostatic earth (including, for example, metallic housings with no earth connection) are not protected from charges resulting from dust, vapour flows and the like.

Fine dust filters

There are fine dust filters in the screw-on probe connector (item 3) and in most probes.

The filters can be cleaned by tapping or blowing to remove the dust.



After cleaning the filters must be replaced in the same position as before !

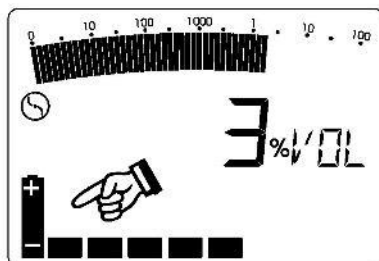
Heavily-soiled filters should be replaced by new ones (accessories) !

Sensor sensitivity

The sensors are deleteriously affected by gaseous components of silicones, oils and phosphate esters, which irreversibly reduce their sensitivity.

Pollution of the measuring environment by halogens, burnt neoprene, PVC, trichloroethylene and the like also weakens the sensitivity of the sensors, but in this case it can be regenerated.

Operation hours during measuring time



- simultaneously pressing both cursor buttons in the detection mode displays the remaining operating time (e.g. 5 hours)
- display disappears (battery symbol and bars) automatically after approx. 10 seconds.

7.0 Technical data

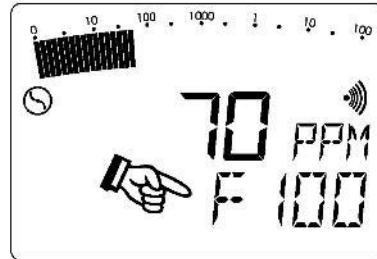
Models	:	EX-TEC® SR5, EX-TEC® SR4, EX-TEC® SR2, VARIOTEC® 8
Calibration	:	methane CH ₄ / natural gas, propane C ₃ H ₈
Measuring systems	:	
- PPM range	:	semiconductor sensor
- %LEL range	:	thermal combustion sensor
- %VOL range	:	thermal conductivity sensor
Measuring ranges	:	10 ppm - 1 ppm steps 100 ppm - 2 ppm steps 1,000 ppm - 20 ppm steps 1 vol.% - 0.02 vol.% steps 10 vol.% - 0.1 vol.% steps 100 vol.% - 1 vol.% steps 100 %LEL - 1 %LEL steps
Workplace monitoring	:	
- measuring system	:	thermal combustion sensor
- t ₉₀ time	:	≤ 4 seconds
Pump power	:	
- gas detection / location	:	> 50 l/h and >150 mbar
- workplace monitoring	:	> 35 l/h
Ex-protection (CENELEC)	:	
- test institute	:	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
- Certificate No.	:	Ex-96.ATEX.2166
- Classification	:	Ⓔ II 2 G EEx ib d IIB T4

Alarm thresholds	:	4 ppm or 2 vol.% (variable), 20 %LEL (fixed)
Dimensions (W x H x D)	:	129 x 192 x 65 mm
Weight	:	1500 g
Type of protection	:	IP 54
Operating time	:	max. 8 hours
Power supply	:	NiCd battery, rechargeable
Operating temperature	:	-10° to +40° Celsius
Storage temperature	:	-25° to +70° Celsius
Humidity range	:	5 - 90 % relative humidity (non-condensing)
Pressure range	:	900 h Pa to 1100 h Pa

8.0 Accessories

<i>CHARGING TECHNIQUE</i>	HS charging adapter, 230 V mains power pack, 12 V or 24 V vehicle adapter
<i>PROBE SYSTEMS</i>	for pipeline monitoring, location, space monitoring and interior installations (see section 1.2)
<i>PROBE HOSE</i>	with hydrophobic filter and quick- release fastenings, in lengths of 1 m, 2 m and 6 m
<i>CO₂ FILTER</i>	to filter out carbon-dioxide traces in the sample gas
<i>PLUNGER BAR</i>	for making probe holes manually handle insulated to 10 kV working lengths 625 mm, 1025 mm and 1325 mm
<i>TEST SETS</i>	SPE 1 and SPE 3 for mobile use (e.g. in a vehicle) with test- gas bottles, SPE 2 for stationary use in the workshop with test-gas flasks
<i>TEST GASES</i>	Test gases in various concentrations, in pressurised gas bottles or flasks
<i>CARRYING CASE</i>	with foam lining and compartments for accessories, detector can be charged in the case
<i>CARRYING SYSTEMS</i>	Triangle carrying system: neck-strap and pad, Cross-strap carrying system: 2 cross-straps

9.0 Error messages



- the detectors automatically identify errors and show the error code in the LCD display (item 2)

<u>Error code</u>	<u>cause and remedy</u>
F10 - F14	adjustment errors in the PPM range check test gas or repeat adjustment
F15, F16, F19, F20 ...	adjustment error in %VOL range, check test gas or repeat adjustment
F17, F18	adjustment error in %LEL range, check test gas or repeat adjustment
F21	component error can only be rectified by SEWERIN Service
F31	synchronisation alarm (not clearable) in WPM mode, error due to nitrogen or carbon dioxide in the gas sample; switch off detector and switch on again in fresh air
F50 - F56	component errors can only be rectified by SEWERIN Service

- F61 sensor breakage in the thermal combustion sensor:
contact SEWERIN service
- F62, F63 sensor breakage in the thermal conductivity sensor: contact SEWERIN service
- F64 sensor breakage in the flow sensor:
contact SEWERIN service
- F65 sensor breakage in the semiconductor sensor:
contact SEWERIN service
- F66 defective humidity sensor:
contact SEWERIN service
- F100 pump power too low:
switch detector off and on again, inspect filters in detector and probes



Should any other error codes occur, please contact SEWERIN service !

10.0 Wearing parts

<i>FINE DUST FILTER</i>	in the probe connection of the detectors (item 3) and in most probes
<i>HOSE FILTER</i>	in the carpet probe
<i>PROBE FILTER INSERT</i>	in the bell probe and the gas-detection probe
<i>HYDROPHOBIC FILTERS</i>	in the 1m, 2m and 6m probe hoses
<i>NEOPRENE MAT</i>	for the carpet probe
<i>SODA LIME FLASK</i>	to refill the CO ₂ filter
<i>TEST GAS CAN</i>	various concentrations in synthetic air or nitrogen <i>Caution!</i> <i>The can is pressurized: do not store at temperatures above 50° C.</i>