

LIIKENNEBIOKAASUN KÄYTTÖÖNOTTO SUOMESSA

Ari Lampinen

Biokaasun käyttöönotto Helsingin liikenteessä vuonna 1941 on esimerkki nopeasta teknologian siirrosta ja uudenlaisen teknologisen järjestelmän synnyttämisestä kunnallispoliittisen päätöksentekomekanismin kautta. Sodan aiheuttamilla kriisiolosuhteilla oli epäilemättä suuri rooli tämän teknologian siirron menestystarinan synnyssä. Toisen maailmansodan aikana käyttöön otettiin Suomessa monia erilaisia kotimaisia liikennepolttoaineita¹, joista biokaasu kuuluu vähiten tunnettuihin. Monet näistä vaihtoehdoista ovat nousseet uudelleen kehitysponnisteluiden kohteeksi jälleen kriisisyistä, mutta tällä kertaa taustalla ovat raakaöljypohjaisten liikennepolttoaineiden tuottamat ympäristöongelmat sekä raakaöljyn pumppaushuipun läheisyyden aiheuttama energian huoltovarmuusongelma, joka vaikuttaa erityisen voimakkaasti lähes täysin raakaöljyn varassa olevaan liikennesektoriin.

Helsingin kunnallispoliittisia valintoja 1940-luvulla ei kuitenkaan voi selittää pelkästään sotaolosuhteilla. Eräissä muissakin Suomen kunnissa (Lahdessa, Rajamäellä, Pietarsaaressa, Raumalla ja Nurmijärvellä)² oli tuolloin biokaasutuotantoa, mutta ne eivät Helsingistä poiketen ottaneet sitä liikennekäyttöön. Helsingissä oli pitkäjänteisesti rakennettu osaamiskapasiteettia, joka mahdollisti maailmalla tapahtuneen teknologisen kehityksen ymmärtämisen ja hyödyntämisen.

Biokaasun liikennekäytön lopettaminen Helsingissä vuonna 1946 on käänteinen esimerkki, jossa äkillisesti kunnallispoliittisilla päätöksillä lopetettiin alkanut teknologinen kehitys kotimaisen jäteperäisen liikennepolttoaineen tuotantoon ja käyttöön. Tämä alasajo oli myös sikäli varsin täydellinen, että yhtään autoa eikä niiden komponenttejakaan ole säilynyt, kuvia on säilynyt hyvin vähän, ja tieto tämän teknologisen järjestelmän silloisesta olemassaolosta on välittynyt nykyaikaan heikosti. Tämän artikkelin tar-

koituksena on osaltaan paikata tätä vajetta yleisen akateemisen mielenkiinnon lisäksi myös siksi, että sama teknologia on jälleen lokakuussa 2011 tullut Suomessa kunnalliseen käyttöön Kouvolassa – ja vieläpä siten, että 70 vuotta Helsingissä tapahtuneen käyttöönoton jälkeen biokaasua voi jälleen vuodesta 2011 alkaen Helsingissä tankata.

Vuoden 1946 jälkeen aina vuoteen 2002 asti kehitys Suomessa estyi pääasiassa valtakunnallisten poliittisten valintojen seurauksena. Viimeisen vuosikymmenen aikana kehitystä on tapahtunut vuodesta 2002 alkaen yksityisten ja vuodesta 2011 alkaen myös kunnallisten aloitteiden kautta YK:n sopimusten ja EU:n politiikan mahdollistamana. Helsingin kunnallispoliittinen toiminta 1940-luvulla antaa erään mallin hyvälle käytännöille nykyisissä kunnissa.

Tämä artikkeli kuvaa uuden teknologisen järjestelmän syntyä useiden teknologisten kehityspolkujen yhteensulautumisen seurauksena. Johdantona annetaan määritelmät biokaasusta ja kerrotaan sen ero

huomattavasti paremmin tunnettuun, häkäpönttöautoissa käytettyyn puukaasuun.

JOHDANTO: MITÄ BIOKAASU JA PUUKAASU OVAT?

Biokaasu tarkoittaa mätänemiseksi kutsutun hapettomissa olosuhteissa tapahtuvan mikrobi-prosessin tuloksena syntyvää kaasuseosta, jossa metaani (CH_4) on tärkein osa sekä määrällisesti että energiasisällöltään. Metaanin lisäksi vety on toinen mädätysprosessissa syntyvä polttoaineeksi soveltuva kaasu, mutta ilman erityistoimenpiteitä sen määrä on metaaniin verrattuna vähäinen. Pyrittäessä maksimoimaan biokaasun tuotantoa mädätystä varten rakennetaan biokaasureaktoreita, joissa lämpötila pidetään joko noin $35\text{ }^\circ\text{C}$:ssa (mesofiilisten mikrobien optimialue, jota Helsingissä 1940-luvulla hyödynnettiin) tai noin $55\text{ }^\circ\text{C}$:ssa (termofiilisten mikrobien optimialue). Biokaasua kuitenkin syntyy myös muissa lämpötiloissa ja myös silloin, kun lämpötila vaihtelee voimakkaasti. Suomen luonnossa, lämmittämättömissä lietesäiliöissä ja kaatopaikoilla mätänemisestä huolehtivat pääasiassa kylmissä olosuhteissa viihtyvät psykoofiiliset mikrobit.

Raaka biokaasu sisältää metaanin jälkeen toiseksi eniten hiilidioksidia, joka yleensä liikennekäyttöä varten poistetaan jalostamiseksi kutsutulla prosessilla. Liikennebiokaasu on siis yleensä jalostettua biokaasua, joka koostuu lähes pelkästään metaanista. Helsingissä liikenteessä käytettiin 1940-luvulla kuitenkin jalostamatonta biokaasua, vaikka samaan aikaan Ruotsin Boråsissa ja Tukholmassa jalostusteknologiaa hyödynnettiin. Jalostettu biokaasu on käytön kannalta oleellisesti samanlaista kuin maakaasuputkien kautta siirrettävä, myös pääasiassa metaania sisältävä, jalostettu maakaasu, vaikkakin eroja löytyy muiden kaasukomponenttien koostumuksessa.

Suomen maakaasuverkossa kulkeva kaasu on Siperiassa jalostettua maakaasua. Jalostettu biokaasu on biometania, jota voidaan biomassasta tuottaa paitsi mikrobiologisesti myös synteettisesti termokemiallisin menetelmin. Tätä kutsutaan synteettiseksi biokaasuksi (SBG). Uusiutuvaa metaania voidaan tuottaa myös esimerkiksi ilmähän hiilidioksidista ja tuulivoiman avulla vedestä erotetusta vedystä yli 100 vuoden ajan tunnetulla Sabatier-reaktiolla; tuulimetaanin liikennekäyttö alkaa Saksassa vuonna 2012. Vastaavasti voidaan käyttää aurinkoenergiaa tai mitä tahansa muuta uusiutuvaa energialähdettä uusiutuvan metaanin (UE-metaanin) tuottamiseksi.

Häkäpönttöautojen polttoaine puukaasu oli 1940-luvulla biokaasua huomattavasti yleisemmin käytetty liikennepolttoaine. Se tarkoittaa termokemiallisesti tuotettua kaasua, jonka energiasisältö on pääasiassa hiilimonoksidina (CO) ja vetyä (H_2). Se on siis kemiallisesti täysin erilaista kuin biokaasu, eivätkä nämä kaasut ole käyttölaiteissaan vaihtokelpoisia. Puukaasua vastaavaa kaasua tuotetaan myös kivihiilestä, koksista, oljista, raakaöljystä ja raskaista raakaöljykomponenteista. Tuotantotapoja on monia, ja tuotetun kaasun koostumus vaihtelee voimakkaasti tuotantotavan mukaan. Näitä kaasuja kutsutaan joko tuotanto- tai käyttötavan mukaan myös kaupunkikaasuksi, valokaasuksi, vesikaasuksi, generaattorikaasuksi ja ilmakaasuksi. Taulukossa 1 annetaan 1940-luvulla käytettyjen energiakaasujen energiasisältöjä, joista nähdään biokaasun merkittävä energieteellinen etu. Korkea typen ja hiilidioksidin osuus selittää erittäin alhaisen energiasisällön häkäpöntöillä tuotetussa generaattorikaasussa.

Häkäpönttöautoissa puukaasu tuotetaan autossa olevassa häkäpöntössä. Se on ollut ainut puukaasun hyödyntämisteknologia Suomessa. Useissa muissa maissa on ollut käytössä myös puukaasun tankkauspaikkoja: niiden avulla keskitetysti tuotettu

Taulukko 1. Eräiden 1940-luvun energiakaasujen alempia lämpöarvoja. Mukailtu Talvitien (1944) taulukoista s. 140 ja 176.

| Energiakaasu | Energiasäältö [kcal/Nm ³] |
|--|---------------------------------------|
| Jalostettu maakaasu | 8000-9000 |
| Jalostettu biokaasu (Boråsissa ja Tukholmassa) | 8000-9000 |
| Raaka biokaasu (Helsingin jätevedenpuhdistamoista) | 7000 |
| Valokaasu (Helsingin kaupunkikaasu) | 4000-4500 |
| Hiilimonoksidi (häkä) | 3020 |
| Vety | 2570 |
| Vesikaasu | 2500-2700 |
| Generaattorikaasu (häkäpönttöautoissa) | 1200-1300 |
| Ilmakaasu | 800-1100 |

puukaasu voidaan tankata paineistettuna autoihin eikä autokohtaista häkäpönttöä tarvita.

Biokaasun käytön perinteet ovat huomattavasti puukaasun perinteitä pidemmät (Kuva 1 seuraavalla sivulla). Biokaasuteknologian käytön aloituksen varhaisin ajoitus on 3000 eaa Sumerissa³. Myös muualta Lähi-idästä on varhaisia tietoja, mutta teknologian käyttö loppui siellä kauan sitten. Sen sijaan Kiinassa biokaasuteknologiaa on käytetty pitkään ja se on yli 40 miljoonan suuruisella laitoskannallaan ylivoimaisesti johtava maa maailmassa edelleen. Varhaisimmat viitteet kiinalaisissa lähteissä kyseisen teknologian käytöstä ovat 1600-luvulta eaa.⁴ Hyvin pitkään biokaasuteknologiaa hyödynnettiin vain lannoitteiden, valon, lämmön ja keittoenergian tuotannossa. Biokaasun hyödyntäminen mekaanisen energian ja sähkön tuotannossa alkoi 1900-luvun alussa ottomoottoriteknologialla, joka oli alun perin kehitetty puukaasua varten. Eräs varhaisimmista esimerkeistä on vuonna 1921 Birminghamin jätevedenpuhdistamolla käyttöön otettu 34 hevosvoiman ottomoottori.⁵ Ottomoottori oli keksintö, joka mahdollisti biokaasun liikennekäytön, mutta monella muulla alueella tarvittiin kehitystä ennen sitä. Näitä globaaleja teknologisia kehityspolkuja tarkastellaan seuraavassa luvussa.

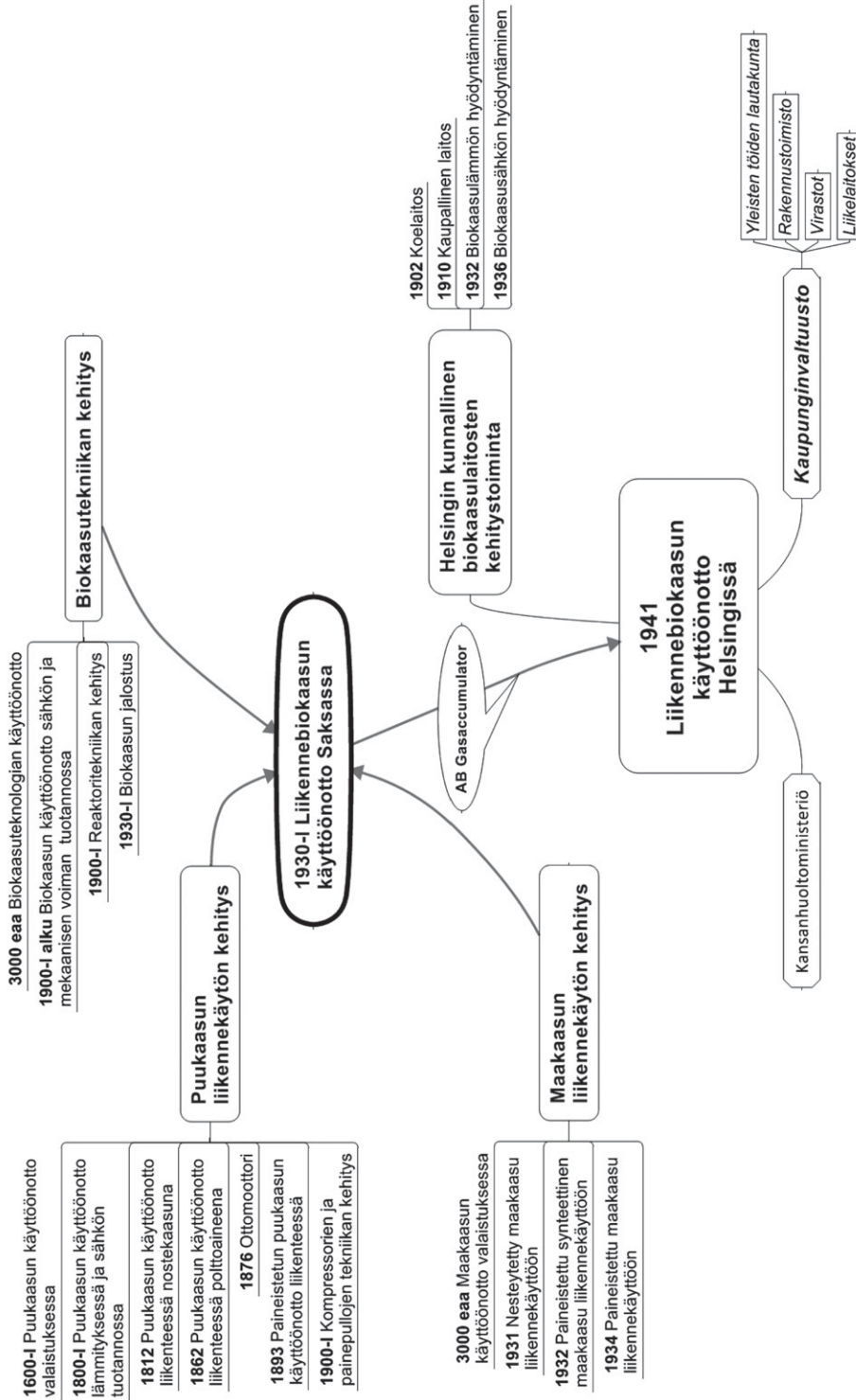
GLOBAALIT TEKNOLOGISET KEHITYSPOLUT

Kuvassa 1 on esitetty ne teknologisen kehityksen polut, jotka tekivät liikennebiokaasun käyttöönoton mahdolliseksi Helsingissä vuonna 1941. Puukaasun ja fossiilimetäänin liikennekäytön kautta edettiin biometaanin liikennekäyttöön.

Puukaasu

Puukaasun energiakäyttöä demonstroitiin 1600-luvun alussa Hollannissa ja se otettiin valaistuskäyttöön ensin Saksassa 1600-luvun lopussa. Puukaasusta tuli merkittävä energialähde lämmityksessä ja valaistuksessa 1800-luvulla kaupunkikaasuverkkojen käyttöönoton myötä. Mekaanisen energian ja myöhemmin sähkön tuotannon perusteknologiat kaasuturbiini ja kaasumoottori olivat tunnettuja jo 1700-luvulla, mutta vasta Nikolaus Otton vuoden 1876 ottomoottori mahdollisti laajamittaisen mekaanisen energian, mukaan lukien sähkön ja ajoneuvojen liike-energian, tuotannon puukaasulla. Vaikka kaasujen käyttöön soveltuvia moottoreita on muitakin, ottomoottorin dominoivan aseman vuoksi nykyään kaasumoottorista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä juuri ottomoottoria.⁶

Étienne Lenoir otti puukaasun ensimmäisen kerran liikennepolttoainekäyttöön



Kuva 1. Liikennebiokaasuteknologian siirto Helsinkiin ja sen taustalla olevat kehityspotut. Kaavio: Ari Lampinen.

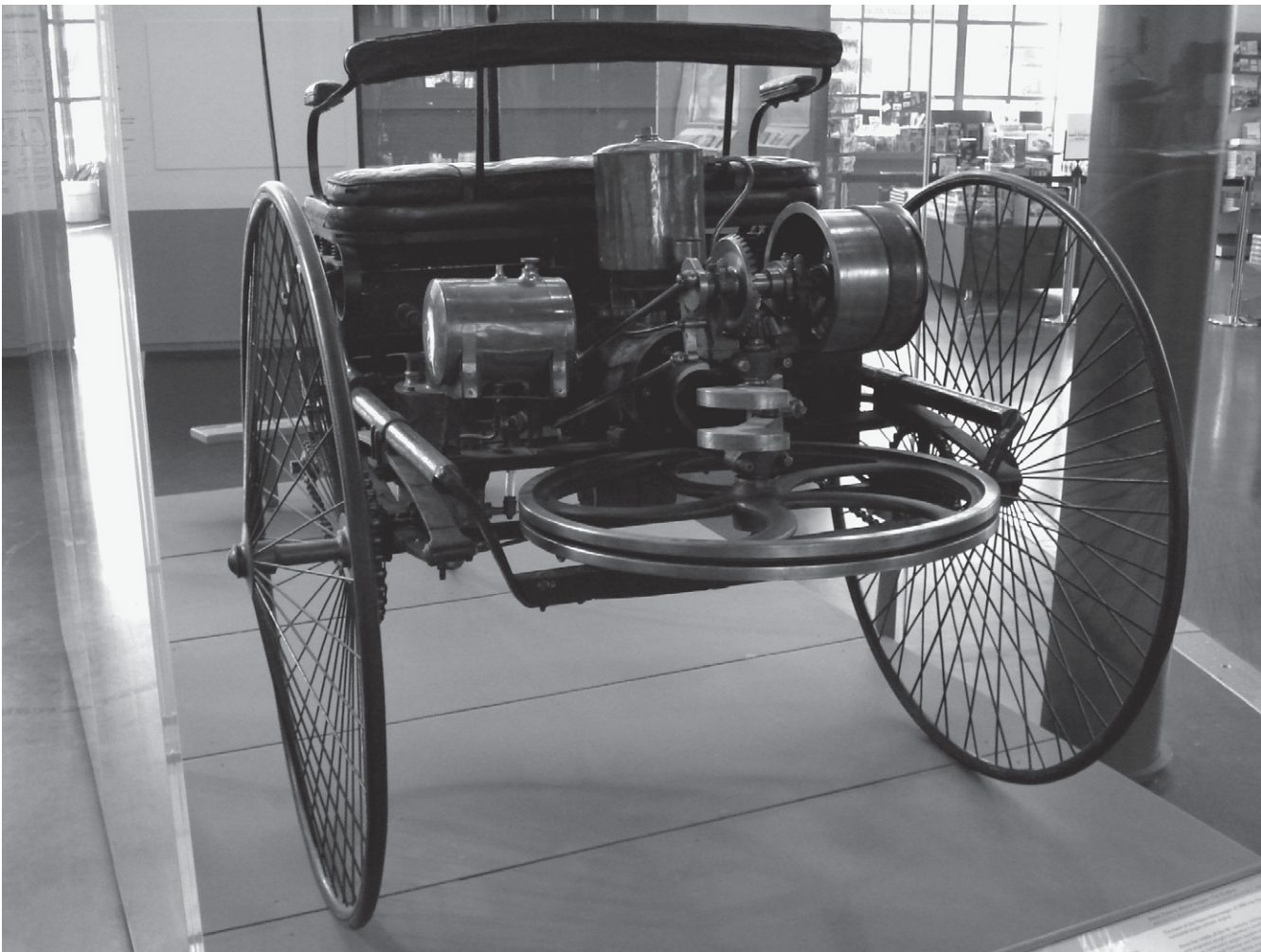
vuonna 1862 Hippomobile-autossaan. Puukaasu (kaupunkikaasu) oli myös Karl Benzin ensimmäisen, ottomoottoria hyödyntävän auton patentissa mainittu polttoaine, vaikka kyseinen auto onkin tullut kuuluisaksi bensiinin käytön takia⁷ (Kuva 2).

Yleisintä puukaasun liikennekäyttö oli toisen maailmansodan aikana, jolloin niin sanottuja häkäpönttöautoja oli Euroopan liikenteessä noin miljoona. Häkäpönttöteknologia perustui puukaasun valmistukseen itse ajoneuvossa. Sen lisäksi oli harvinaisempaan käytössä 1800-luvun lopulta 1940-luvulle saakka tankkausjärjestelmiä, joista

Kuva 2. Karl Benzin puukaasukäyttöinen vuoden 1885 auto Deutsches Museum Verkehrszentrumissa Münchenissä. Kuva: Ari Lampinen.

kaupunkikaasua tai erikseen tarkoitusta varten valmistettua puukaasua voitiin tankata joko paineistamattomana tai paineistettuna. Paineistamaton puukaasu tai mikä tahansa muu paineistamaton kaasumainen polttoaine kelpaa erittäin suuren polttoainetaraston vaatimuksen takia vain poikkeustilanteissa käytettäväksi. Paineistettu kaasu sen sijaan soveltuu useimmille ajoneuvotyypeille, moottoripyöristä laivoihin. Tämä teknologia otettiin ensi kerran käyttöön puukaasulla vuonna 1893 raitiovaunuissa Saksassa.⁸

Kompressor- ja painepulloteknologi-
an kehitys mahdollisti varastointipaineen nostamisen 1800-luvun lopun muutaman barin tai korkeintaan muutaman kymmenen barin tasolta satoihin bareihin 1930-luvun alkuun mennessä.⁹ Paineistettua valokaasua käytettiin 1930-luvulla esimerkiksi Berliinin



kaupungin bussiyhtiön (Berliner Verkehrsgesellschaft) busseissa. (BVG-yhtiön kaasubussitekniikan käyttö on jatkunut näihin päiviin: kirjoittajan käydessä heidän varikollaan kesäkuussa 2011, sieltä löytyi paineistettua maakaasua/biokaasua, paineistettua vetyä ja nesteytettyä vetyä käyttäviä busseja sekä kaikkien näiden polttoaineiden tankkausinfrastruktuuri.)

Autojen tankeissa paine oli 1930-luvulla 200 baria ja tankkausasemavarastoissa 350 baria. Paineistetun valokaasun tankkausasemia oli vuonna 1937 Saksassa 41 ja niitä käyttäviä autoja yli 1000.¹⁰ Englannissa ensimmäinen tankkausasema avattiin 1933, jolloin teräksisiä paineistetun kaasun säiliöitä sekä ajoneuvoihin että tankkausasemille valmistava Chesterfield Tube Company avasi Chesterfieldissä tankkausaseman, jonka varastopaine oli 345 bar.¹¹ Johtava maa oli kuitenkin Ranska sekä kompressorilla että painepullotekniikan pitkäjänteisen kehitystyön tuottaman korkean tason mahdollistamana. Vuonna 1937 Euroopassa oli 28000 paineistettua kaasua (kivihiili/puukaasu tai metaani) käyttävää ajoneuvoa, joissa kaasutankin paine oli korkeintaan 275 baria.¹² Suomessa paineistetun puukaasun teknologiaa ei koskaan ole liikenteessä sovellettu, vaan puukaasun hyödyntäminen on rajoittunut ainoastaan häikäpönttötekniikkaan.

Fossiilimetaani

Puukaasun energiatiheys on alhainen verrattuna metaaniin (Taulukko 1), josta syystä paineistettua puukaasua ei nykyään käytetä, mutta sen sijaan korkean energiatheyden paineistettua metaania hyödyntäviä ajoneuvoja oli syksyllä 2011 käytössä yli 16 miljoonaa, ja OECD:n International Energy Agency on arvioinut määrän nousevan jopa 186 miljoonaan vuoteen 2035 mennessä¹³. Metaani on bensiinin ja dieselöljyn jälkeen maailman kolmanneksi eniten käytetty liikennepolttoaine ja sen osuus liikennepolt-

toainemarkkinoista on voimakkaassa kasvussa.

Ennen uusiutuvaa metaania käyttöön otettiin fossiilinen metaani. Paineistetun jalostetun maakaasun (CNG) liikennekäyttö alkoi vuonna 1934 Italiassa ottomootoreilla varustetuilla Fiatin henkilöautoissa (200 bar) ja linja-autoissa (250 bar).¹⁴ Nykyään autoille on standardoitu 200 barin tankit ja raskaille autoille vaihtoehtoisesti myös 250 barin tankit eli edistymistä ei tässä suhteessa ole 1930-luvun jälkeen tapahtunut, vaikka painepulloteknologia on kehittynyt. Standardoimisen haittapuoliin lukeutuu se, että korkeampia paineita ei autoissa voida käyttää, vaikka niiden avulla autojen tankkausväli voitaisiin nykyisellä teknologialla jopa kolminkertaistaa tai vaihtoehtoisesti säilyttää nykyinen tankkausväli, mutta pienentää kolmannekseen tankkien viemä tila. Muissa ajoneuvotyypeissä, kuten laivoissa ja vetureissa, tätä rajoitusta ei ole.

Jo ennen maakaasua Saksassa käytettiin pääasiassa metaania sisältävää paineistettua kaasua autoissa 1930-luvun alusta alkaen. Vuosikymmenen kestäneen kokeilutoiminnan jälkeen kivihiilikaasusta pystyttiin erottamaan metaani, paineistamaan se ja käyttämään kaupallisesti raskaissa ajoneuvoissa (kuorma-autot, linja-autot ja junat 150 barin terässiiliöissä) vuodesta 1932 alkaen. Ruhrin alueen kivihiilimetaanin vuotuinen tuotantopotentiali vuonna 1930 oli 3 miljardia kuutiota. Sen kaupallisesti Bronn-Concordia-Linde -menetelmää käyttävä Concordia-Bergbauaktiengesellschaft. Paineistetun metaanin hinta oli puolet bensiinin hinnasta (mikä vastaa nykyistä tilannetta Suomessa).¹⁵ Kivihiiliperäistä metaania kutsutaan nykyään nimellä synteettinen maakaasu (SNG).

Biokaasu

Paineistetun fossiilisen metaanin teknologia avasi tien biokaasun liikennekäyttöön. Reaktori-, jalostus- ja paineistusteknologian

kehitys 1900-luvulla johti CBG-tekniikkaan eli paineistetun biokaasun teknologiaan. Suurin työ teknologioiden yhdistämiseksi tehtiin Saksassa, jossa oli ollut paineistetun kivihiiiperäisen synteettisen metaanin (CSNG) autokäyttöä 1930-luvun alusta alkaen ja mahdollisesti 1930-luvun puolivälistä alkaen myös jätevedenpuhdistamojen biokaasun käyttöä.¹⁶ Biokaasun jalostusta vesipesulla oli tutkittu ja demonstroitu vuodesta 1930 alkaen.¹⁷ Se otettiin liikennekäyttöön Boråsissa vuonna 1941 ja Tukholmassa vuonna 1942.¹⁸ Ab Gasaccumulator-yhtiö (myöhemmin AGA Ab), jonka nimi tarkoittaa paineistetun kaasun varastoa, toteutti kaupallisesti teknologian siirron Suomeen 1940-luvun alussa (nykyään AGA on vahva toimija Ruotsin liikennebiokaasumarkkinoilla, mutta ei enää Suomessa).

TEKNOLOGIAN SIIRTO HELSINKIIN

Helsingillä oli erinomaiset valmiudet paineistetun biokaasuteknologian käyttöönottoon 1940-luvun alussa johtuen pitkäjänteisestä ja monipuolisesta biokaasun tuotannon ja käytön kehitystyöstä, jonka yhteydessä teknologiaa oli totuttu siirtämään. Osaamiskapasiteettia oli rakennettu sekä olemassa olevan teknologian osalta että ulkomaille suuntautuneiden kaupungin viranhaltijoiden opintomatkojen seurauksena myös muista maista saatavissa olevan teknologian osalta. Tutkimusyhteistyö oli jatkuvaa kotimaisten yliopistojen kanssa.¹⁹

Tanskalaiseen teknologiaan perustuva Alppilan biologinen jätevedenpuhdistamo käynnistettiin vuonna 1910, sen jälkeen kun vuosina 1902–1904 toimineen Helsingin kaupungin rakennuskonttorin rakentaman ja piirilääkäri Albert Palmbergin johtaman koelaitoksen teknologian kaupallinen käyttöönotto oli vuosia kestäneen poliittisen prosessin jälkeen hylätty.²⁰ Vaikka näissä laitoksissa syntyvä metaani laskettiin ilmaan,

molemmissa hyödynnettiin mädätysprosessia, joten niitä voidaan pitää Suomen ensimmäisinä biokaasulaitoksina. Vastaavissa lämmittämättömiin lietesäiliöihin perustuvissa laitoksissa syntyvää metaania oli esimerkiksi Englannissa hyödynnetty 1800-luvulta alkaen ja Kiinassa vuosisatojen ajan. Metaanin hyödyntämättä jättäminen on edelleen yleistä suomalaisissa biokaasulaitoksissa.²¹

Biokaasun hyödyntäminen Suomessa alkoi 1930-luvulla Helsingin Kyläsaaren ja Rajasaaren jätevedenpuhdistamoissa, joihin siirrettiin Englannissa kehitetty biologinen puhdistusteknologia (aktiivilieteprosessi) ja siihen yhdistettynä myös varsinainen lämmitettävä biokaasureaktori.²² Kyläsaaren biologisen puhdistuslaitoksen teknologia-toimittaja oli Activated Sludge Ltd. Englannista ja rakentaja Yleinen insinööritoimisto Oy.²³ Aktiivilieteprosessi on edelleen vallitseva moderneissa jätevedenpuhdistamoissa.

Kyläsaaren laitos valmistui vuonna 1932. Sen biokaasu siirrettiin Helsingin kaupunkikaasuverkkoon, jonka kautta se tuli käyttöön valaistuksessa, lämmityksessä ja ruoanlaitossa sekoitettuna kaupunkikaasun kanssa. Raaka biokaasu sisälsi energiaa 1,5-kertaisesti kuutiota kohti kivihiihellä, koksilla ja puulla termisen kaasutuksen kautta tuotettuun kaupunkikaasuun verrattuna (Taulukko 1).²⁴

Rajasaaren jätevedenpuhdistamo valmistui vuonna 1936. Sen kaasua hyödynnettiin kaasumootorilla sähkön tuotantoon, ja hyödynnettävää lämpöä saatiin jäähdytysveden ja pakokaasujen lämmönvaihtimista eli kyseessä oli sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP). Kaasumootoreita oli kaksi, jotka molemmat olivat 2-sylinterisiä ja 96 hevosvoiman tehoisia.²⁵

Tämän Helsingin kehityksen luonnollisena jatkumona oli täydentää biokaasun käyttötavat vielä liikenteeseen: liikennebiokaasun tankkauspaikka avattiin Kyläsaareissa kesäkuussa 1941 ja Rajasaareissa maaliskuussa 1943 (Kuva 3). Tieto tämän



Kuva 3. Kuorma-auto tankkaamassa biokaasua Rajasaaren jätevedenpuhdistamon tankkaus-
asemalla vuonna 1943. Kuva: Foto Roos/Helsingin kaupunginmuseon kuva-arkisto.

teknologian saatavuudesta oli Helsingin kaupungilla jo vuonna 1938, jolloin Helsingin kaupungin rakennustoimiston apulaiskaturakennuspäällikkö, insinööri R. Granqvist kirjoitti seuraavasti: ”*Toinen keino on, että kaasu puhdistetaan hiilibaposta ja tiivistetään sekä myydään korkeapainepulloissa polttoaineeksi autoihin ja busseihin.*”²⁶ R. Granqvist oli lähetetty virkamatkalle Saksaan tutustumaan siellä käytössä olevien puhdistuslaitosten biologisten osien koneistoihin Rajasaaren puhdistuslaitoksen koneistotarvetta silmällä pitäen.²⁷ Tällä matkalla tuli tutuksi myös kaasun liikennekäytön teknologia. Asiasta

tehtiin myös kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriössä tutkimus.²⁸

Ab Gasaccumulator Oy toi Suomeen paineistus- ja tankkausteknologian sekä ajoneuvojen muuntosarjat bensiiniautojen muuntamiseksi biokaasuautoiksi. Muunto oli yksinkertainen toimenpide: muuntosarjat sisälsivät 2-vaiheisen paineensäätäjän, etulämmittäjän ja sekoitusventtiilin. Muuntosarjat tilattiin Saksasta kaasumaisien polttoaineiden liikennekäytön teknologian valvojalta Zentralbüro für Mineralöl GmbH:ltä, jonka tehtäviin kuului kaasutuotannon ohjaaminen, käyttölaitteiden valmis-

tuksen johtaminen ja autojen rakenteellisten muutosten säätäminen.²⁹ Oleellisesti samalla tavalla meneteltiin sekä Saksassa että muissa maissa, kun bensiiniautoja muunnettiin paineistetun puukaasun käyttöön pystyviksi³⁰, mutta Suomessa tätä teknologiaa ei koskaan hyödynnetty.

Helsingin kaupunginvaltuusto toimi teknologian siirron päättävänä elimenä, kuten se oli päättänyt myös Helsingin aiemmasta biokaasualan kehityksestä (Kuva 1). Yleisten töiden lautakunta oli esittelevä elin ja sen alainen rakennustoimisto suoritti muuntosarjojen hankinnat Ab Gasaccumulator Oy:ltä ja niiden asennustyöt autoihin konekorjaamollaan. Autojen muuntosarjojen hankinta- ja asennusluvut saatiin kansanhuoltoministeriöltä. Kaupungin virastot ja liikelaitokset anoivat autojensa muuntolupia kaupunginhallitukselta: esimerkiksi rakennustoimiston osalta varasto-osasto vastasi muunnettaviksi esitettävien ajoneuvojen valinnasta.³¹

Ab Gasaccumulator Oy tilasi Saksasta yhteensä 150 autojen asennussarjaa neljässä

25 kappaleen ja yhdessä 50 kappaleen erässä vuosina 1940–1941 siten, että toimitukset loppuivat vuonna 1941.³² Helsingin kaupunginhallituksen pöytäkirjoista 24.4.1941 alkaen löytyy päätökset 92 asennusluvasta. Niiden lisäksi kaupunginhallituksen pöytäkirjassa 28.11.1940 on maininta 8 muuntosarjan hankinnasta ja rakennustoimiston varasto-osaston ilmoituksessa vuoden 1941 alussa on maininta 4 muuntosarjan asennuksesta. Ei ole varmaa, että nämä asennukset on suoritettu tai että ne olisivat lisänä mainituille 92 asennusluvalla. Vuodeksi 1941 tilatuista sarjoista 50 sarjan kohtalosta kirjoittaja ei ole löytänyt tietoa. On mahdollista, että muuntosarjat eivät ainakaan vuoden 1945 alussa olleet lopussa, koska rakennustoimisto kaupunginhallitukselle osoittamallaan lausunnolla (kaupunginhallituksen lausuntopyyntö 15.12.1944) esitti aluelääkäri Eino Sillmanin jättämän asennushakemuksen hylkäämistä perusteena kaasun riittämättömyys, mutta ei maininnut muuntosarjojen loppumista tai varaston vähäisyyttä. Sen jälkeen kaupunginhallitus

Taulukko 2. Biokaasuautojen omistus Helsingissä 1940-luvulla.

| | Henkilöautoja | Pakettiautoja | Kuorma-autoja | Tyyppi tuntematon | Yhteensä |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-----------|
| Ab Gasaccumulator Oy (AGA) | 1 | | | | 1 |
| Rakennustoimisto | | | 11 | 40 | 51 |
| Kaupunginhallitus | 1 | | | | 1 |
| Palolaitos | 1 | 1 | 2 | 1 | 5 |
| Sairaalahallitus | | | | 2 | 2 |
| Kaasulaitos | 1 | 1 | 2 | 2 | 6 |
| Sähkölaitos | 1 | 1 | | 3 | 5 |
| Raitiotie ja Omnibus Oy | | | | 1 | 1 |
| Vesijohtolaitos | 2 | 3 | 1 | | 6 |
| Halkotoimisto | | | 2 | | 2 |
| Kulkutautisairaala | | | 1 | | 1 |
| Kunnalliskoti | 1 | | 1 | | 2 |
| Ilmasuojelukeskus | 1 | | | | 1 |
| Puhtaanapitolaitos | | | 5 | | 5 |
| Elintarvikekeskus | | | 1 | | 1 |
| Puhelinyhdistys | | | | 1 | 1 |
| Kiinteistölautakunta | 1 | | | | 1 |
| Yhteensä | 10 | 6 | 26 | 58 | 92 |

antoi enää vain 1 asennusluvan (9.5.1945), mutta senkään päätöksen yhteydessä ei mainittu muuntosarjojen loppumista. Yhteensä 58 asennussarjan kohtalo on tuntematon. Taulukko 2 sisältää tiedot 92 biokaasuauton sijoittumisesta. Kaupunginhallitus myönsi asennuslupia vain Helsingin kaupungin virastoille ja yhtiöille poikkeuksena yksi Ab Gasaccumulator Oy:n auto.

Ab Gasaccumulator Oy osti raakakaasun, paineisti sen ja myi autoihin Kyläsaaren ja Rajasaaren jätevedenpuhdistamojen yhteyteen rakennetuilla tankkausasemilla. Tankkausasemat olivat sikäli edistyksellisiä, että korkeapaineisen kaasun varasto oli 350 barin paineessa eli korkeammassa kuin Suomessa vuoden 2011 lopulla käytössä olevissa 18 metaanitankkausasemassa. Se tarkoittaa, että tankkaus on ollut erittäin nopeaa. Nykyään globaalisti käytössä olevissa 20 000 tankkausasemassa varastotankkien paine on enimmillään 700 baria, mutta alempi maksimipainevaatimus mahdollistaa pienemmän paineistusenergian kulutuksen ja halvemman kompressorin, josta syystä 300 baria on yleisimmin käytetty

sekä Suomessa että ulkomailla. Korkeamman paineen käyttö johtaa varastojärjestelmän koon pienentämiseen ja sen hinnan alenemiseen.

Kyläsaaren asemalla autojen tankit voitiin täyttää 150 bariin (Kuva 4) ja Rajasaarella 200 bariin asti. Kaasutankkeja oli henkilöautoissa 2–3 ja kuorma-autoissa 4–6, joten kaasua mahtui autoihin 12–48 kuutiota.³³

Autojen tehot olivat 1940-luvulla biokaasulla samat kuin bensiinillä ajettaessa, kaasukuutio vastasi energiasisällöltään bensiinilitraa ja biokaasun hinta oli bensiiniin verrattuna 10 % alempi. Myös yksityishenkilöt toivoivat voivansa käyttää kaasua, mutta Helsingin kaupunki varasi koko tuotannon omille autoilleen.³⁴

Kuva 4. Tukholman kaupunkibusseissa vuodesta 1942 alkaen käytetty biokaasuperävaunu, joka sisältää kuusi 150 barin kaasutankkia. Tankkauksen sijaan bussit vaihtoivat varikolla tyhjentyneen perävaunun täyteen. Helsingissä ei toimittu tällä tavalla. Kuva on Tukholman liikennemuseosta. Kuva: Ari Lampinen.



Taulukko 3. Liikennebiokaasun käyttö Helsingissä 1940-luvulla. Myyntimäärät ja osuudet: KHK 1941–1946. Energiasisältö: 70 %:n metaanipitoisuus (Granqvist 1938, 237). Autojen lukumäärä: muunnosluvut/KHP 1941–1946.

| | Liikennekaasu Kyläsaari [m ³] | Osuus kaasusta | Liikennekaasu Rajasaari [m ³] | Osuus kaasusta | Liikennekaasu yhteensä [m ³] | Liikennekaasu yhteensä [TJ] | Autoja |
|----------|--|-------------------|--|-------------------|---|--------------------------------|--------|
| 1941 | 87.899 | 44 % | | | 87.899 | 2,2 | 53 |
| 1942 | 174.452 | 86 % | | | 174.452 | 4,4 | 68 |
| 1943 | 134.140 | 67 % | 107.175 | 51 % | 241.315 | 6,1 | 89 |
| 1944 | 140.053 | 79 % | 207.139 | 95 % | 347.192 | 8,7 | 91 |
| 1945 | 124.624 | 66 % | 269.480 | 89 % | 394.104 | 9,9 | 92 |
| 1946 | 27.352 | 12 % | 82.096 | 21 % | 109.448 | 2,8 | 92 |
| Yhteensä | 688.520 | | 665.890 | | 1.354.410 | 34,1 | |

Heikkoutena Helsingin järjestelmissä oli jalostusyksikön puuttuminen³⁵. Sen tarkoituksena on vähentää hiilidioksidin ja kasvattaa metaanin osuutta kaasussa. Vesipesuun perustuva jalostus oli silloin tunnettu ja se on yleisin jalostusmenetelmä nykyäänkin. Lähes kaikissa nykyisissä liikennebiokaasun tuotantolaitoksissa on jalostusyksikkö, ja Ruotsin Boråsissa vesipesujalostamo oli otettu käyttöön vuonna 1941. Vaikka erillistä jalostusyksikköä ei rakennettu, osa kaasusta kuitenkin vesipestiin Helsingissä 1940-luvulla, sillä esimädättämön raakakaasu kulki jäteveden läpi hiilidioksidia liuottaen. Kaasun peruspuhdistus rikkivedystä ja vedestä tehtiin erillisillä yksiköillä. Johtuen silloisen bensiinin heikosta laadusta (se oli 68-oktaanista)³⁶ ja tuotetun raakakaasun korkeasta 70 % metaanipitoisuudesta (se oli korkeampi kuin Helsingin nykyisessä jätevedenpuhdistamossa Viikissä, jossa se oli 62 % vuonna 2010)³⁷, bensiini ja jalostamaton biokaasu olivat ajo-ominaisuuksiltaan samanlaisia.

Taulukkoon 3 on koottu liikennebiokaasun myyntitiedot. Laitosten täysien tuotantovuosien aikana liikennekäyttöön myytiin Kyläsaarella 66–86 % ja Rajasaarella 89–95 % tuotetusta raakakaasusta. Raakakaasusta saatava hinta oli liikennekäyttöön myytäessä (3,60 mk/m³) yli seitsenkertainen verrattuna myyntiin kaasulaitokselle

(0,5 mk/m³), joten liikenteeseen pyrittiin myymään niin paljon kuin mahdollista.³⁸ Oli myös kannattavampaa hankkia omaan kulutukseen tarvittava energia (halot, kooksi ja kaupunkikaasu) muualta, kuin käyttää biokaasua siihen tarkoitukseen. Tilanne on sama nykyisissä jätevedenpuhdistamoissa: Ruotsissa on liikennebiokaasun tuotanto jätevedenpuhdistamoilla nykyään yleistä, mutta Suomessa Kouvola on vuonna 2011 ainut esimerkki.

LIIKENNEBIOKAASUN TUOTANNON LOPETTAMINEN

Liikennebiokaasun myynti lopetettiin bensiinin tuonnin vapauduttua sekä Kyläsaarella että Rajasaarella 31.3.1946 kaupunginhallituksen päätöksillä. Muunnosarjat poistettiin autoista, jolloin ne kaikki palasivat pelkästään bensiinikäyttöisiksi. Autojen kaasutankit myytiin kaupunginhallituksen päätöksellä kaasusäiliöiksi Oy AGA AB:lle ja happisäiliöiksi Matti Saurio Oy:lle.³⁹ Muut kaasujärjestelmäkomponentit jäivät kaasuautojen omistajille. Koska kaikki autot muunnettiin bensiinikäyttöisiksi, niin kokonaisia autoja ei säilynyt. Kirjoittajan vuonna 2008 tekemässä sähköpostikyselyssä Suomen automuseoihin ilmeni, että kaasujärjestelmäkomponentteja ei löydy niiden

kokoelmista (kuva 4 on esimerkkinä siitä, että Ruotsissa niitä on säilynyt). Ylipäänsä tietoa siitä, että biokaasuautoja oli 1940-luvulla Suomessa käytössä, oli vastanneista 15 automuseosta vain yhdellä, Kangasalalla sijaitsevalla Mobilialla (muut yhdistivät asian puukaasuautoihin). Helsingin kaupunginmuseon kuva-arkistossa on vain kaksi biokaasuautokuvaa, joista toinen on tämän artikkelin kuvana 3. Mobilia-museon ja Helsingin Tekniikan museon kokoelmissa ei ole yhtään 1940-luvun liikennebiokaasukäyttöä koskevaa esinettä, kuvaa tai dokumenttia.

Teknologijärjestelmän täydellinen alasajo ei johtunut teknologisista syistä, toisin kuin puukaasun, sillä monessa suhteessa biokaasu oli ja on edelleen selvästi bensiiniä laadukkaampi polttoaine.

Moniin puukaasun ongelmiin lukeutui 40 % tehon menetys 1940-luvun tavantomaisten häkäpönttöautojen teknologiaa käytettäessä. Kuitenkin koska puukaasun nakutuskestävyys oli parempi kuin bensiinin, sillä pystyttiin saavuttamaan bensiiniä korkeampi teho ja hyötysuhde joko moottorin puristussuhdetta nostamalla tai turbotekniikalla. Tämä asia tunnettiin Suomessakin jo 1930-luvulla, ja koeautoja rakennettiin⁴⁰, mutta yleiseen liikenteeseen niitä ei Suomessa saatu. Myöskään paineistettua puukaasua ei liikenteeseen Suomessa saatu. Puukaasu siis mahdollisti energiatehokkuuden parantamisen bensiiniin verrattuna, mutta kehittyneitä teknologioita ei Suomessa 1940-luvulla sovellettu. Siten puukaasusta haluttiin sodan jälkeen luopua niin nopeasti kuin mahdollista alhaisen energiatehokkuuden, alhaisen lämpöarvon (Taulukko 1), suuren huoltotyövaatimuksen sekä häkäpönttöjen suuren painon ja koon vuoksi.

Helsingin biokaasulla puolestaan saavutettiin bensiiniautojen teho, vaikka kaasua ei jalostettu. Jalostamalla tehoa ja hyötysuhdetta olisi pystytty nostamaan jopa kaksinkertaiseksi verrattuna silloisiin ben-

siiniautoihin. Biokaasun oktaaniluku on 140 tai ylikin (Helsingin kaasun oktaaniluku oli yli 150), joten nakutuskestävyys on ylivoimainen sekä silloiseen 68-oktaaniseen että myös parhaimpiin nykyisiin, kilpa-autojen 102-oktaanisiin bensiineihin verrattuna. Jo 1940-luvulla tiedettiin, että biokaasun erityisen korkea moottoritekniinen laatu oli hyödynnettävissä joko moottorin puristussuhdetta nostamalla tai turboteknologialla. Sekä biokaasun moottoritekniinen paremmuus että biokaasun korkeampi lämpöarvo bensiiniin verrattuna puolsivat biokaasutekniikan käytön jatkamista. Teemu Veijola sanoi Suomalaisten Kemistien Seuran kokouksessa 7.3.1945 seuraavasti: ”*Puhtaan metaanin lämpöarvo on n. 15 % suurempi kuin bensiinin, ja kun sen nakutuskestävyykskin on parempi, se on mitä edullisin moottorien polttoaine.*”⁴¹ Biokaasun etuina olivat myös huomattavasti alemmat terveydelle haitallisten yhdisteiden päästöt. Huollon suhteen biokaasuautot eivät eronneet bensiiniautoista (päinvastoin kuin häkäpönttöautot, joiden huolto oli moninkertaisesti työläämpää ja likaisempää). Kaasutankkien bensiinitankkeja hieman suurempi koko ja paino tarkoittivat kuljetuskapasiteetin lievää pienenymistä bensiiniautoihin verrattuna, mutta suurta kasvua häkäpönttöautoihin verrattuna. Teemu Veijolan yhteenveto vuonna 1945 oli seuraava: ”*Vaikka onkin vielä liian aikaista ryhtyä arvostelemaan, onko kaasun käyttäminen autojen polttoaineena meidän oloissamme edullisin käytötapa, on todettava, että sillä on suuret edellytykset jäädä pysyvästi käytäntöön kaupunkiolosuhteissa myöskin poikkeuksellisten olosuhteiden ohimentyä.*”⁴²

Teknologian alasajo ei johtunut myöskään taloudellisista syistä, sillä liikennebiokaasuliiketoiminta oli kannattavaa sekä jätevedenpuhdistamolle (Helsingin kaupungille), AGAlle että käyttäjille (Helsingin kaupungille). Kaupunki sai kaasusta 7-kertaisen hinnan myydessään sen AGAlle liikennekäyttöön (3,60 mk/m³) verrattuna myyntiin

kaasulaitokselle (0,5 mk/m³). AGAlle toiminta oli kannattavaa, sillä se myi paineistettua kaasun autoille hintaan 13,80 mk/m³.⁴³ Tämä hinta oli 10 % halvempi kuin bensinin hinta, joten biokaasun käyttö oli autojen omistajille kannattavaa.

Resurssipulakaan ei selitä teknologian alasajoa, vaan potentiaalia tunnettiin olevan teknologian käytön runsaalle kasvatamiselle. Jo vuonna 1945 tiedettiin, että siirtyminen mesofiilisestä termofiiliseen prosessiin lisäisi kaasun tuotantoa 50 %:lla jätteen hajoamisen tehostuessa, ja samaan tulokseen on päädytty myöhemmissä tutkimuksissa, kuten vuosina 2008–2011 toteutetussa Suomen ympäristökeskuksen ja VTT:n TERMOS-tutkimusohjelmassa.⁴⁴ Siitä huolimatta Helsingissä ei ole vielä siirrytty termofiiliseen prosessiin. Myöskään mesofiilisen prosessin kaasuntuotannossa ei ole paljoa edistytty, sillä Rajasaaren puhdistamon vuoden 1939 tuotanto 380 m³ raakakaasua orgaanista kuiva-ainetonta kohti on kelvollinen tulos modernissakin laitoksessa⁴⁵. Lisäämällä mukaan Helsingin kiinteät biojätteet, kaasun tuotanto olisi voinut 1940-luvulla 50-kertaistaa.⁴⁶ Erittäin suuri kaasuntuotannon lisäys olisi Helsingissä edelleen tällä tavalla saavutettavissa, mutta sitä ei ole toteutettu (hanke tosin on nyt menossa), vaan biojätteiden energioresurssi on hukattu kompostoimalla tai läjittämällä kaatopaikoille. Teemu Veijolan viisaus 1940-luvulta on siis edelleen ajankohtainen: ”*Kun tämä maadutetaan kompostikasoissa, hukataan siten ehkä satojentuhansien markkojen arvoinen kaasumäärä.*”⁴⁷ Lisäksi, jo 1940-luvulla tiedettiin, että mädätysprosessilla voitiin tuottaa myös vetyä.⁴⁸

Vuonna 1945 oli siis monesta syystä perusteita olettaa teknologian kehityksen jatkuvan Helsingissä. Edellä mainittuihin voi lisätä vielä A.I. Virtasen tuoman nosteen: saadessaan tuolloin Nobelin kemian palkinnon, hän tutki Helsingin yliopistossa puun termofiilistä fermentaatiota.⁴⁹

OPPIA NYKYAIKAAN

Biokaasujoneuvoteknologian alasajo vuonna 1946 oli totaalinen. Se oli mahdollista, koska kaupunginhallitus kontrolloi teknologiaa täydellisesti. Osasyyn päätökseen oli bensinin tuonnin vapautuminen, mutta se ei ole riittävä syy. Teknologiset, taloudelliset ja resurssiperusteet alasajolle puuttuivat. Kaupunginhallituksen päätösten taustasyiden tutkiminen voisi antaa mielenkiintoista ja mahdollisesti edelleen ajankohtaista yhteiskuntapoliittista tietoa, kuten on antanut Turun kaupungin raitiovaunuliikenteen lopettamisen tutkimus. Turussa lopetettiin vuonna 1908 käyttöön otetun raitiovaunuliikenteen kehittäminen 1950-luvulla, ja se suljettiin kokonaan 1960-luvulla tehdyin kunnallispoliittisin päätöksin vuonna 1972.⁵⁰ Raitiovaunuliikennettä yritettiin lopettaa jo 1920–1930-luvulla, mutta tällöin se säilyi hyvin perustelluista syistä.⁵¹ Samat perusteet säilyttämislle olisivat olleet voimassa myös 1960-luvulla, mutta ne eivät poliittisista syistä nousseet esiin.

Molemmille näille teknologiajärjestelmien alasajotapauksille on yhteistä raakaöljyn liikennekäytön poliittinen edistäminen. Monien muidenkin kotimaisten liikenteen voimanlähteiden, kuten puujäteperäisen etanolin, infrastruktuuri on kokenut saman kohtalon. Useita kotimaisia vaihtoehtoja bensinille ja dieselöljylle oli 1940- ja 1950-luvulla Suomen markkinoilla, mutta ne katosivat viimeistään 1960-luvulla.

Biokaasu- ja sähköajoneuvoille on yhteistä raakaöljyriippumattomuus, mahdollisuus tuottaa niiden tarvitsema energia paikallisesti sekä kaikista liikenteen käyttövoimavaihtoehdoista potentiaalisesti alhaisimmat elinkaaren päästöt. Näistä syistä niiden käyttöönottoa pyritään nykyään ympäristöpoliittisin ja energiapolitiittisin keinoin edistämään YK-, EU- ja kansallisella tasolla, ja toiminta Suomessa on alkanut myös kunnallisella tasolla. Helsingin kunnallisen

politiikan esimerkki 1940-luvulla on erinomainen myös nykyään seurattavaksi, sillä edelleenkin kunnilla on valta päättää alueensa jätevesien ja kiinteiden biojätteiden käytöstä, ja edelleenkin kunnilla on valta päättää polttoainevalinnoista merkittävässä määrässä ajoneuvoja: kunnan ja kunnan yhtiöiden ja liikelaitosten ajoneuvot sekä henkilö- ja tavaraliikennekilpailutuksessa valittavat ajoneuvot. Ruotsissa on kunnallispoliittisen toiminnan ansiosta onnistuttu saamaan aikaan lähes 200 biokaasun tankkauspaikan verkosto, lähes 50 jalostamo ja lähes 40 000 biokaasujoneuvoa, joiden pääasiallinen resurssi on edelleen jätevesi, mutta sen lisäksi myös yhdyskuntien, teollisuuden ja maatilojen kiinteä biojäte.

Suomessa kunnallisen politiikan mahdollisuudet olivat pitkään rajoitetut johtuen bensiinin ja dieselöljyn käyttöä erittäin voimakkaasti tukevasta verolainsäädännöstä vuosina 1965–2003.⁵² Nykyään valtio ei enää aseta ylitsekäymättömiä esteitä biokaasu- ja sähköajoneuvoteknologian kunnallispoliittiselle edistämiseksi, josta syystä Helsingin toiminta 1940-luvun alussa on kunnallisille päätöksentekijöille hyödyllistä tuntea.

Biokaasun liikennekäyttö Suomessa alkoi uudelleen vuonna 2002 Erkki Kalmarin maatilakohtaisessa laitoksessa Laukaassa. Hänen tankkauspaikkansa oli Suomen ainut vuoteen 2011 asti, jolloin kunnallinen liikennebiokaasun tuotanto alkoi Kouvolassa ja synnytti 14 uutta biokaasun tankkauspaikkaa. Vuoden 2011 lopulla joka puolella Suomea on vastaavia hankkeita, joiden seurauksena tämän teknologian käyttö tulee lähivuosina kasvamaan voimakkaasti. Vuonna 2012 tullaan tekemään uusi liikennebiokaa-

sun käytön ennätys ja nykyinen Helsingin tuottama ennätys vuodelta 1945 jää viimein historiaan – mutta toivottavasti historiaan, joka tunnetaan.

Kirjoittaja on uusiutuvan energian liikennekäytön historian tutkija ja Pohjois-Karjalan liikennebiokaasuverkoston kehityshankkeen projektipäällikkö Joensuun Seudun Jätehuolto Oy:ssä.

Tämä artikkeli on vertaisarvioitu. *Tekniikan Waiheita* kiittää vertaisarvioijia arvokkaista kommentteista.

¹ Nykänen 2000.

² Lehtonen 1994, 17-21.

³ Deublein & Steinhauser 2008, 27.

⁴ He 2010.

⁵ Watson 1921.

⁶ Lampinen 2009, 75-108 ja 408-411.

⁷ Lampinen 2011.

⁸ Lampinen 2009, 91-108 ja 286-293.

⁹ March 1932.

¹⁰ Simola 1940.

¹¹ Engineer 1933.

¹² Egloff 1938, 1091.

¹³ IEA 2011, 119.

¹⁴ Sansone 1936.

¹⁵ Roth 1932; Engineer 1932; Simola 1940, 75; Talvitie 1944, 399.

¹⁶ Simola (1940,73) mainitsee, että viemärikaasua olisi käytetty polttomootoreissa Saksassa 180.000 m³ vuonna 1935 ja 1,25 miljoonaa m³ vuonna 1937. Teksti jättää epävarmaksi, että oliko tämä kokonaan tai osittain liikennekäyttöä.

¹⁷ Deublein & Steinhauser 2008, 29.

¹⁸ ASS 1942.

¹⁹ Tätä toimintaa kuvataan vuosittain Helsingin kaupungin tilitoimiston julkaisemissa kertomuksissa Helsingin kaupungin kunnallishallinnosta.

²⁰ Laakkonen 2001, 158-184.

²¹ Vuonna 2010 kolmasosa Suomen biokaasureaktoreissa tuotetusta tai kaatopaikoilta kerätystä biokaasusta soihdutettiin (Huttunen & Kuittinen 2011, 15-16), jonka lisäksi metaania pääsi suoraan ilmaan huonosti tunnettu määrä varsinkin kaatopaikoilta.

- ²² Kyläsaaren ja Rajasaaren laitosten syntyprosessia on tutkittu paljon: Laakkonen & Lehtonen 2001, Herranen 2001, 94-95, Juuti ym. 2010, 63-65, 69-70, 110-111.
- ²³ Tilastotoimisto 1935, 37.
- ²⁴ Tilastotoimisto 1936, 22*.
- ²⁵ Granqvist 1938, 237; Tilastotoimisto 1938, 19*.
- ²⁶ Granqvist 1938, 237.
- ²⁷ Tilastotoimisto 1940, 235.
- ²⁸ Pursi 1981.
- ²⁹ Simola, 1940, 75.
- ³⁰ Engineering 1932.
- ³¹ Pursi 1981, KHK 1940-1946, KHP 1940-1946.
- ³² KHP 24.4.1941.
- ³³ Veijola 1945, 105.
- ³⁴ SK 1941.
- ³⁵ Sellainen oli tarkoitus hankkia (Granqvist 1938, 237), mutta se jäi tekemättä (Veijola 1945, 105).
- ³⁶ Nykänen 2000, 279-280.
- ³⁷ Huttunen & Kuittinen 2011, 20.
- ³⁸ Veijola 1945, 105.
- ³⁹ KHP 21.3.1946.
- ⁴⁰ Kyrklund 1938.
- ⁴¹ Veijola 1945, 105.
- ⁴² Veijola 1945, 106.
- ⁴³ KHP 20.6.1945.
- ⁴⁴ Veijola 1945, 110; Kangas ym. 2011, 72.
- ⁴⁵ Vuoden 1939 tuotanto: Veijola 1945, 106. Nykyinen taso 400-450 m³/t (Lillman ym. 2011, 19).
- ⁴⁶ Veijola 1945, 106-107, 111. Helsingin puhtaanapitolaitoksen pääasiassa maatyteiksi kuljettamien biojätteiden jakauma (yht. 135.000 m³) vuonna 1938, ks. Karttunen 1943, 215-216. Kotitalouksien biojätteiden syntypaikkalajittelu oli Tukholman mallin mukaan aloitettu Helsingissä vuonna 1910, mutta se lopetettiin vuonna 1928, koska ihmiset eivät oppineet lajittelemaan (Nygård 2001, 97).
- ⁴⁷ Veijola 1945, 111.
- ⁴⁸ Karttunen 1943, 214. Tätä ei vielä ole kaupallisesti toteutettu, mutta se on nykyään tutkimuksen kohteena osana vetytalouden toteuttamista, esim. Ronkainen ym. 2005.
- ⁴⁹ Virtanen & Hukki 1946. Syntyneessä kaasussa oli vetyä enemmän kuin metaania.
- ⁵⁰ Sirkiä 2003.
- ⁵¹ Laaksonen 2009, 60-63.
- ⁵² Lampinen 2008.

LÄHTEET

Virallislähteet ja julkaisemattomat lähteet

- ASS: Styrelse och revisionsberättelser för år 1942 samt årsredogörelse med statistiska uppgifter. Aktiebolaget Stockholms Spårvagnar, 1942.
- KHK: Kertomukset Helsingin kaupungin kunnallishallinnosta vuosilta 1932-1946. Helsingin kaupunginarkisto.
- KHP: Helsingin kaupunginhallituksen pöytäkirjat vuosina 1940-1946. Helsingin kaupunginarkisto.
- PURSI, Sirkka: Metaanikaasun käyttö autojen polttoaineena. Julkaisematon, Helsingin kaupungin rakennusviraston arkisto 1981.
- SIRKIÄ, Hanna: Hyvästi ny sitt – raitsikat: Turun raitiovaunuliikenteen lakkautus 1961-1972. Pro gradu -tutkielma, Historian laitos, Turun yliopisto 2003.
- TILASTOTOIMISTO: *Kertomus Helsingin kaupungin kunnallishallinnosta 1932*. Helsingin kaupungin tilastotoimisto 1935.
- TILASTOTOIMISTO: *Kertomus Helsingin kaupungin kunnallishallinnosta 1933*. Helsingin kaupungin tilastotoimisto 1936.
- TILASTOTOIMISTO: *Kertomus Helsingin kaupungin kunnallishallinnosta 1936*. Helsingin kaupungin tilastotoimisto 1938.
- TILASTOTOIMISTO: *Kertomus Helsingin kaupungin kunnallishallinnosta 1938*. Helsingin kaupungin tilastotoimisto 1940.
- TILASTOTOIMISTO: *Kertomus Helsingin kaupungin kunnallishallinnosta 1945, jälkimmäinen osa*. Helsingin kaupungin tilastotoimisto 1949.

Lehdet ja kirjallisuus

- DEUBLEIN, Dieter & STEINHAUSER, Angelika: *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Wiley-VCH, Weinheim 2008.
- EGLOFF, Gustaf: Motor fuel economy of Europe. *Ind. Eng. Chem.* Vol. 30(10), 1938, 1091-1104.
- ENGINEER: Methane gas for heavy motor vehicles. *The Engineer* Vol. 64, 1932, 15.
- ENGINEER: A compressed gas filling station. *The Engineer* Vol. 66, 1933, 509.
- ENGINEERING: Town's gas operated motor vehicle. *Engineering* Vol. 84, 1932, 605-606.
- GRANQVIST, R: Lokaveden puhdistuksessa saatavista sivutuotteista ja näiden käytöstä Helsingissä, *Teknillinen Aikakauslehti* Vol. 28, 1938, 236-237.
- HE, Pin Jing: Anaerobic digestion: An intriguing long history in China. *Waste management*, Vol. 30(4), 2010, 549-550.

- HERRANEN, Timo: *Vettä ja elämää – Helsingin vesihuollon historia 1876–2001*. Helsingin Vesi, Helsinki, 2001.
- HUTTUNEN, Markku J. & KUITTINEN, Ville: *Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 14 – Tiedot vuodelta 2010*. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences No 5, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu, 2011.
- IEA: *Are we entering a golden age of gas?* Special report, International Energy Agency, Paris 2011.
- JUUTI, Petri, RAJALA, Riikka & KATKO, Tapio: *Metropoli ja meri – 100 vuotta jätevedenpuhdistusta Helsingissä*. HSY:n julkaisuja 6/2010, Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut, Helsinki 2010.
- KANGAS, Ari, LUND, Charlotta, LIUKSIA, Saku, ARNOLD, Mona, MERTA, Elina, KAJOLINNA, Tuula, CARPEN, Leena, KOSKINEN, Pertti & RYHÄNEN, Tapio: *Energiatehokas lietteenkäsittely*. Suomen ympäristö 17/2011, Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- KARTTUNEN, Toivo: Taajaväkisissä yhdyskunnissa syntyvistä jäteaineista. *Teknillinen Aikakauslehti* Vol. 33, 1943, 212–216.
- KYRKLUND, Harald: Kaasukäyttöiset autot. *Teknillinen Aikakauslehti* Vol. 28, 1938, 208–213.
- LAAKKONEN, Simo: *Vesiensuojelun synty – Helsingin ja sen merialueen ympäristöhistoriaa 1878–1928*. Gaudeamus, Helsinki 2001.
- LAAKKONEN, Simo & LEHTONEN, Pekka: Mikrobit palveluksessa – Jätevedenpuhdistuksen kehitys Helsingissä. Teoksessa *Näkökulmia Helsingin ympäristöhistoriaan*. (Toim.) Simo Laakkonen, Sari Laurila, Pekka Kansanen ja Harry Schulman. Helsingin kaupungin tietokeskus, Edita, Helsinki 2001, s. 226–239.
- LAAKSONEN, Mikko: *Turun raitiotiet*. Toinen, tarkistettu painos, Kustantaja Laaksonen, Helsinki 2009.
- LAMPINEN, Ari: Fossiilisten liikennepolttoaineiden tukimekanismien kehitys Suomen verolainsäädännössä. *Oikeus* 4/2008, 453–473.
- LAMPINEN, Ari: *Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta*. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun julkaisuja B:17, Joensuu 2009.
- LAMPINEN, Ari: Benzin auton ja Wrightien lentokoneen roolimallit maailman ensimmäisinä. *Tekniikan Waiheita* 2/2011, 33–39.
- LEHTONEN, Jussi: *Jäteveden puhdistuksen kehitys Suomessa pitkällä aikavälillä*. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Vesi- ja ympäristötekniikan laitos No. B58, 1994.
- LILLMAN, Jouni, SANDELIN, Heikki & HILTUNEN, Jarmo: Mädätyksen tehostaminen saneeraamalla. *Vesitalous* 1/2011, 17–20.
- MARCH, Frank S.: Light-weight high-pressure gas cylinders. *Engineering* Vol 85, 1932, 489–490.
- NYGÅRD, Henry: Kompostoida vai polttaa? Keskustelua jätteenkäsittelyn vaihtoehtoista 1950-luvulla. Teoksessa *Näkökulmia Helsingin ympäristöhistoriaan*. (Toim.) Simo Laakkonen, Sari Laurila, Pekka Kansanen ja Harry Schulman. Helsingin kaupungin tietokeskus, Edita, Helsinki 2001, s. 90–101.
- NYKÄNEN, Panu: *Bensiinihiilivetyjen valtiat – voitelu- ja moottoripolttoaineiden tutkimus Suomessa vuoteen 1948*. STH Julkaisuja Nro 2, Tekniikan historian seura ry., 2. korjattu painos, Helsinki 2000.
- RONKAINEN, Outi, KOSKINEN, Perttu, LEHTOMÄKI, Annimari, LAMPINEN, Ari, TOIVAINEN, Kimmo, KAKSONEN, Anna, PUHAKKA, Jaakko & RINTALA, Jukka: *Biologinen vedyntuotanto pimeäfermentaatioprosessilla*. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 82, Jyväskylä 2005.
- ROTH, Walter: Methane used as motor fuel. *Chem. Eng. News* Vol. 10(13), 1932, 169.
- SANSONE, Raffaele: World-Wide Chemistry: Italy. *Chem. Eng. News* Vol. 14(6), 1936, 108–110.
- SIMOLA, Olli: Pullokaasuautot. *Teknillinen Aikakauslehti* Vol. 30, 1940, 72–75.
- SK: Bensiinin korviketta – viemäriverdestä. *Suomen Kuvalehti* 22/1941, 776–777.
- TALVITIE, Arvi: *Kemiallinen teknologia*. Ensimmäinen osa. WSOY, Porvoo 1944.
- VEIJOLA, Teemu: Vedenpuhdistuslaitokset kaasun tuottajina. *Suomen kemistilehti* Vol. 18, 5–6/1945, A101-A112.
- VIRTANEN, Artturi, I. & HUKKI, J.: Thermophilic Fermentation of Wood. *Suomen kemistilehti* Vol. 19, 1-2/1946, B4-B13.
- WATSON, J.D.: Power gas from sewage, *Engineering* Vol. 62, 1921, 456.