



VAKOLA

03450 OLKKALA
913-46211

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS
FINNISH RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

TUTKIMUSSELOSTUS N:o 24

Simo-Pekka Parmala

POLTTOMOOTTORIEN VARUSTAMINEN KOTIMAISTEN
POLTTOAINEIDEN KÄYTTÖÖN SOVELTUVAKSI

Vihti 1980

POLTTOMOOTTORIEN VARUSTAMINEN
KOTIMAISTEN POLTTOAINEIDEN
KÄYTTÖÖN SOVELTUVAKSI

SIMO-PEKKA PARMALA

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1	Johdanto	1
2	Kotimaisista polttoaineista valmistettavissa olevat polttoaineet	2
2.1	Kiinteät polttoaineet	2
2.2	Kaasumaiset polttoaineet	5
2.2.1	Yleistä	5
2.2.2	Generaattorikaasu	5
2.2.3	Biokaasu	6
2.3	Nestemäiset polttoaineet	7
2.3.1	Metanoli	7
2.3.2	Etanoli	10
2.3.3	Synteettinen bensiini	11
2.3.4	Kasviöljyt	12
3	Puukaasu moottoripolttoaineena	14
3.1	Laitteiston toiminta	14
3.2	Moottorin muuttaminen puukaasukäyttöiseksi	18
3.2.1	Ottomoottorit	18
3.2.2	Dieselmoottorit	19
3.2.2.1	Etu- ja pyörrekammiodieselmoottorit	19
3.2.2.2	Suoraruiskutusdieselmoottorit	19
3.2.2.3	Ahdetut dieselmoottorit	21
3.3	Laitteiston suunnittelu	22
3.3.1	Kaasunkehittimen polttoaine	22
3.3.2	Moottorin kaasun tarve	24
3.2.2.1	Ottomoottorin kaasun kulutus	24
3.2.2.2	Dieselkaasukäyttöisen moottorin kaasun kulutus	28
3.3.3	Kaasun kehitin	30
3.3.3.1	Tulipesä	31
3.3.3.2	Kehittimen ulkovaippa	35
3.3.3.3	Polttoainesäiliö	36
3.3.3.4	Kondenssiveden keräys	36
3.3.4	Kaasun suodatin	38
3.3.5	Kaasun jäähdytin	39
3.3.6	Kaasun sekoitin ja moottoritehon säätö	42
3.3.7	Kehittimen käynnistysjärjestelmä	46
3.3.8	Kaasuputkisto	47

4

	Puukaasukokeet	48
4.1	Traktori	48
	4.1.1 Moottoriin tehdyn muutokset	48
	4.1.2 Polttonestelaitteet	49
4.2	Puukaasutinlaitteisto	50
	4.2.1 Kaasun kehitin	53
	4.2.1.1 Rakenne	53
	4.2.1.2 Kehittimen mitoitus	53
	4.2.1.3 Rakennemateriaalit	57
	4.2.1.4 Polttoaine	57
	4.2.1.5 Käynnistys	58
	4.2.1.6 Käyttökokemuksia	58
	4.2.2 Kaasun suodatin	59
	4.2.2.1 Suodattimen rakenne	59
	4.2.2.2 Suodattimen virtausvastusmittaukset	60
	4.2.3 Kaasun jäähdytin	64
	4.2.3.1 Jäähdyttimen rakenne	64
	4.2.3.2 Jäähdytinkokeet	64
	4.2.4 Kaasun sekoitin ja moottoritehon säätö	67
4.3	Moottoritehon mittaukset	70
	4.3.1 AKMO 520 KIV	71
	4.3.2 VAKOLAn hakekehitin	72
4.4	Polttonesteen, puun ja kaasun kulutus	77
	4.4.1 Polttonesteen kulutus	77
	4.4.2 Puun kulutus	77
	4.4.3 Kaasun kulutus	79
4.5	Ruiskutusennakon ja puritusuhteen muutosten vaikutus	80
4.6	Muut kokeiden aikana ilmi tulleet asiat	81
	4.6.1 Terva	81
	4.6.2 Sylinterin kannen tiivisteet	83
	4.6.3 Ruiskutussuuttimet	83
5	Taloudelliset näkökohdat	85
5.1	Puukaasulaitteiston valmistus	85
5.2	Polttoaineen hankinta	86
5.3	Käyttökustannukset	87
5.4	Verotus	91

		Sivu
6	Turvallisuuskysymykset	92
	6.1 Tulipalon vaara	92
	6.2 Myrkytysvaara	92
	6.3 Ajoneuvon käytön vaikeutuminen	93
7	Kokeet kasviöljyn käytöstä dieselpolttonesteen korvaajana	94
	7.1 Koekäyttö	94
	7.2 Rypsiöljyn ominaisuudet DIN-standardin vaatimuksiin verrattuna	96
	7.3 Rypsiöljyn tuotanto	96
	7.4 Päätelmiä	96
8	Yhteenveto	98
	8.1 Mahdollisuudet korvata nestemäinen polttoaine puukaasulla	98
	8.2 Toimenpide-ehdotuksia	99
	8.2.1 Puukaasun käyttömahdollisuudet paikallis-käytössä	99
	8.2.2 Standardikaasutinsarjan suunnittelu	99
	8.2.3 Turboahdetun dieselmoottorin puukaasukäyttö	99
	8.2.4 Mekaanisesti käytetyn puhaltimen käyttö ke-hitinlaitteiston imuvastusten kumoamiseksi	99
	8.2.5 Yhteistyö Ruotsissa puukaasututkimusta te-kevään laitoksen kanssa	100
	8.2.6 Kasviöljyn käyttö dieselpolttonesteenä	100
9	Kirjallisuusluettelo	101
10	Luettelo käytetyistä lyhenteistä	105
Liite 1	Kertomus matkasta Statens Maskinprovningarin Uumajan toimipisteeseen, Ruotsiin 4.-5.7.1979	
Liite 2	VTT:n tutkimusselostus n:o POVO3540 - Rypsiöljyn tutkiminen	

1. Johdanto

Tämä tutkimus on tehty Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksella, maatilatalouden kehittämisrahaston apurahan turvin. Tutkimuksen johtajana on ollut VAKOLAN johtaja, prof. Alpo Reinikainen. Valvoajakunnan puheenjohtajana on ollut apul.prof. Antti Saarialho ja sihteerinä DI Jukka Ahokas sekä jäsenenä DI Rauno Bergius, DI Matti Suomi, DI Jouko Tommila ja ins.maj. K.U. Viinikka. Päättäjänä on toiminut DI Simo-Pekka Parmala.

Tutkimus sai alkunsa tarpeesta saattaa Suomessa harjoitettava kotimaisten moottoripolttoaineiden tutkimus ajan tasalle. Aikaisemmat korvaavia polttoaineita käsittelevät, Suomessa tehdyt tutkimukset ovat 10...20 vuotta vanhoja.

Tavoitteena on ollut selvittää mitä tuloksia tällä alalla on saavutettu viimeisten vuosikymmenen aikana ja soveltaa tuloksia Suomen oloihin.

Tutkimuksen aluksi suoritettiin esityönä kirjallisuustutkimus, jolla selvitettiin mahdollisuudet kotimaisten polttoaineiden ja kotimaista raaka-aineista valmistettavissa olevien polttoaineiden käyttöön polttomoottoreissa. Samoin pyrittiin selvittämään erilaisten moottoripolttoaineiden valmistusmahdollisuudet. Kirjallisuustutkimuksen perusteella päätettiin syventyä tarkemmin puukaasutinlaitteisiin ja puukaasun käyttöön dieselmootoreissa.

Puukaasutinlaitteita on kehitetty Ruotsissa vuodesta 1959 lähtien. Tämän työn tuloksena laitteiden suunnitteluperusteet ja käyttöominaisuudet ovat huomattavasti muuttuneet.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty nykyaikaisen puukaasutinlaitteiston suunnitteluperusteet ja erilaisten moottorien varustaminen puukaasukäyttöön soveltuvaksi. Lisäksi suunniteltiin ja rakennettiin puukaasulaitteisto soveltaen hankittuja tietoja. Laitteisto asennettiin dieseltraktoriin, jolla suoritettiin kokeita käytännön kokemuksen saamiseksi.

Puukaasukokeiden lisäksi kokeiltiin rypsiöljyn käyttöä dieselpolttonesteen korvikkeena.

2. Kotimaisista raaka-aineista valmistettavissa olevat moottoripolttoaineet

Seuraavassa luvussa käsitellään erilaisia mahdollisuuksia varustaa nykyisin käytössä olevat moottorit kotimaisten polttoaineiden käyttöön soveltuviksi. Lähtökohтана on tilanne, jossa öljypohjaisten polttonesten saanti äkillisesti vähenee huomattavasti tai loppuu kokonaan. Tällaisessa tilanteessa olisi olemassa olevat moottorit saatava toimimaan polttoaineilla, joita on Suomesta saatavissa. Tällöin ei kustannuksilla ole niin suurta merkitystä kuin aikana jolloin kaikkia polttoaineita on vapaasti saatavana.

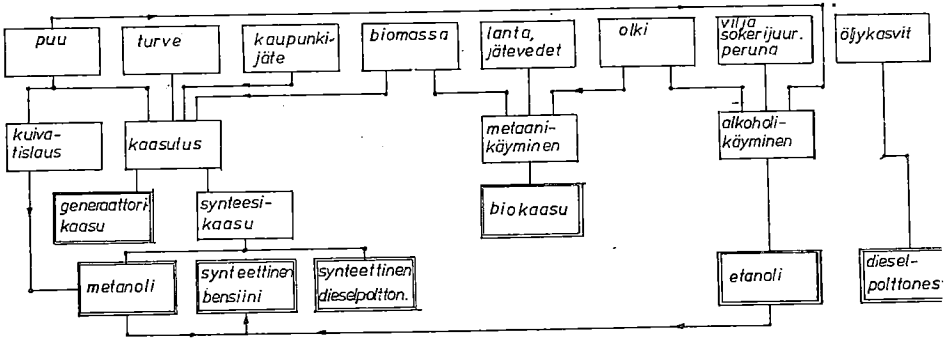
Tekstissä on mainittu polttoaineita, joiden käyttö moottoripolttoaineena on teoreettisesti mahdollista, mutta joilla ei kuitenkaan ole käytännön merkitystä. Pääpaino on pantu polttoaineille, joiden käyttö on tämän tutkimuksen mukaan myös käytännössä mahdollista.

Esitykseen on otettu mukaan polttoaineet, jotka valmistetaan kotimaisesta raaka-aineesta, mahdollisesti kotimaista energiaa käyttäen. Näin mm. vety jää pois, koska sen valmistus näiltä näkymiltä tarvitsisi sähköä, joka olisi tuotettava lähinnä ydinvoimaloissa tuontipolttoaineesta. Eri polttoainevaihtoehdot ja niiden raaka-aineet on esitetty kuvassa 2.1. Taulukossa 1 on vertailtu eräiden korvaavien polttoaineiden ominaisuuksia, ja hankintamahdollisuuksia keskenään. Taulukosta puuttuu tärkeä vaihtoehto, synteettinen bensiini. Sen valmistuksesta ei vielä ole saatavissa riittävästi tietoja, koska menetelmiä kehitetään edelleen.

2.1 Kiinteät polttoaineet

Kiinteässä olomuodossa olevia aineita ei ole totuttu pitämään moottoreihin soveltuvana polttoaineena. Kiinteitä aineita voidaan kuitenkin käyttää polttoaineena dieselmoottorissa kun ne jauhetaan erittäin hienojakoiseksi ja syötetään moottorin imusarjaan tai puhalletaan sylinteriin sytytysketkellä. Sytytys tapahtuu erikseen sylinteriin ruiskutettavan sytytyspolttonesteanneksen avulla. Tällä tavalla käytettävältä polttoaineelta edellytetään pientä tuhkapitoisuutta ja puhtautta. Lähinnä kysymykseen tulisi puupöly.

Kotimaisista raaka-aineista valmistettavissa
olevat moottoripolttoaineet



Kuva 2.1

Taulukko 1. Eräiden korvaavien polttoaineiden ominaisuuksien vertailu

METANOLI

Valmistustapa	Raaka-aine	Saanto	Energiatase
Kuivatislaus	Puu	50 kg/t	5 % (Saadaan myös muita tuotteita)
Kaasutus + metanolisynteesi	Puu Turve	350 kg/t, 700 kg/ha, 13 GJ/ha 300 kg/t	50 % 2) 56 % (Ha- saanto laskettu "energiapajulle")

ETANOLI

Valmistustapa	Raaka-aine	Saanto	Energiatase
Alkoholikäymäinen + tislaus	Sokeriruoko Sokerijuurikas Peruna Ohra Olki	70 l/t, 3900 l/ha, 80 GJ/ha 85 l/t, 2000 l/ha, 42 GJ/ha 110 l/t, 1400 l/ha, 29 GJ/ha 345 l/t, 850 l/ha, 18 GJ/ha 100 l/t, 400 l/ha, 8 GJ/ha	12 % 13 % 13 % 10 % 90 % 1) (optimoitu valmistusprosessi)
	Sellujäteliemi	45 l/ tuotettu sellutonni	(vain sulfittijäteliemi)

KASVIÖLJY

Valmistustapa	Raaka-aine	Saanto	Energiatase
Puristus +	Rapsi	454 l/t, 750 l/ha, 27 GJ/ha	50 % (lisäksi saadaan valkuaisrehua n. 1500 kg/ha)

PUUKAASU

Valmistustapa	Raaka-aine	Saanto	Energiatase
Kaasutus	Hake	2 m ³ /kg, 4000 m ³ /ha, 22 GJ/ha	70 % (Ha- saanto laskettu "energiapajulle")

1) Optimoitu prosessi käytännössä ilmeisesti n. 70 %

2) Puulle

Kiinteiden polttoaineiden käyttöä moottorissa ei ole tutkittu Suomessa. Ruotsissa on suoritettu joitakin kokeita pienellä 1-sylinterisellä dieselmoottorilla käyttäen polttoaineena pyökkipölyä. Käytännön merkitys näillä polttoaineilla on ilmeisesti vähäinen.

2.2 Kaasumaiset polttoaineet

2.2.1 Yleistä

Tunnusomaista kotimaisista raaka-aineista saataville kaasumaisille polttoaineille on alhainen lämpöarvo ja/tai pieni palamisnopeus. Ensimmäinen puu- ja turvekaasulle tyypillinen ominaisuus, jälkimmäinen on tyypillistä biokaasulle. Seurauksena mainituista ominaisuuksista on moottorista saatavan tehon aleneminen kun siirrytään öljypohjaisista polttoaineista näihin korvaaviin polttoaineisiin. Kaasun alhaisen lämpöarvon takia sylinteritäytöksen energiasisältö jää pieneksi. Hidas palaminen johtaa taas siihen ettei sylinteritäytös ehdi palaa kokonaan ellei sytytysajankohtaa säädetä hyvin aikaiseksi. Tästä on seurauksena negatiivisen työn määrän kasvu kiertoprosessissa. Saatava teho alenee.

2.2.2 Generaattorikaasu

Moottoreissa käytettäväksi sopivaa kaasua voidaan valmistaa kiinteistä kotimaisista polttoaineista kaasuttamalla ne. Lähinnä tulevat kysymykseen puu ja turve. Myös erilaisia biomassasta valmistettuja pellettejä voidaan kaasuttaa. Kaasu valmistetaan erityisessä kaasun kehittimessä, jossa polttoaineen palokaasut johdetaan hehkuvan pelkistyshiilikerroksen lävitse. Tuloksena saadaan kaasuseos, joka sisältää seuraavat komponentit:

CO	17...22 %
H ₂	16...20 %
CH ₄	2... 3 %
CO ₂	10...15 %
N ₂	45...50 %
C _n H _m	0,2...0,4 %

Pitoisuudet vaihtelevat yllämainituissa rajoissa polttoaineen laadun, kehitinkonstruktion ja kuormituksen mukaan. Moottorissa käyttökelpoinen seos saadaan kun kaasuun sekoitetaan ilmaa suhteessa 1:1. Kaasuilmaseoksen lämpöarvo on 2500...2900 kJ/Nm³. Alhaisesta lämpöarvosta on seurauksena heikentynyt moottoriteho siirryttäessä nestemäisestä polttoaineesta puukaasuun. Tehoa alentaa lisäksi kaasun alhainen syttymisnopeus, kaasuseoksen ympäristöä korkeampi lämpötila ja kehitinlaitteiston aiheuttama alipaine imusarjassa. Nopeakäyntisissä moottoreissa kaikki kaasu ei pala moottorissa. Generaattorikaasun nesteyttäminen tai pakkaaminen painepulloihin ei ole kannattavaa (13). Kaasu on käytettävä valmistuspaikallaan. Tämä edellyttää ajoneuvoon asennettun laitteiston käyttämistä. Generaattorikaasun valmistuksessa tarvittavat laitteet ovat varsin yksinkertaisia ja helposti valmistettavia. Lisäksi polttoaine on yksinkertaisin välinein hankittavissa.

2.2.3 Biokaasu

Yhdyskuntien jätevesistä, karjanlannasta ja biomassasta tai niiden sekoituksesta voidaan valmistaa kaasumaista polttoainetta käymisprosessin avulla. Käyminen tapahtuu erityisessä reaktorissa, jossa ylläpidetään 30...60°C lämpötilaa. Prosessissa mikro-organismit hajoittavat orgaanisen aineksen. Syntyvä kaasu sisältää pääasiassa metaania ja hiilidioksidia.

Kaasun keskimääräinen koostumus on seuraava:

CH ₄	55...70 %
CO ₂	27...44 %
H ₂	1 %
H ₂ S	3 %

Moottorikäyttöön soveltuvan kaasu-ilmaseoksen lämpöarvo on luokkaa 3200 kJ/Nm³.

Biokaasu-ilmaseoksen lämpöarvo on varsin hyvä. Seoksen syttymisnopeus on kuitenkin niin alhainen ettei kaasu pala kokonaan nopeakäyntisessä moottorissa. Moottorin teho laskee noin 30 % siirryttäessä nestemäisistä polttoaineista biokaasun käyttöön.

Biokaasu valmistetaan suurissa kiinteissä laitoksissa. Käytettäessä sitä moottoriajoneuvojen polttoaineena tulee vastaan kysymys kaasun kuljetuksesta ja varastoinnista. Painepulloihin pakattuna kaasu saadaan pienempään tilaan. Esimerkiksi 50 l pulloon mahtuu 10 m^3 kaasua kun käytetään 20 MPa painetta. Esimerkiksi 4 l moottorilla varustettu traktori tarvitsisi tällaisia pulloja 4 kpl tunnissa.

Mikäli kaasusta poistetaan CO_2 , H_2S ja H_2 voidaan se nesteyttää -83°C lämpötilassa ja 4,7 MPa paineessa. Yllämainittu esimerkkitraktori tarvitsisi 38 l nesteytettyä kaasua tunnissa.

Biokaasun pakkaamiseen liittyy hankaluuksia (korkea paine, alhainen lämpötila), jotka eivät kuitenkaan ole ylivoimaisia. Joka tapauksessa ne rajoittavat biokaasun käyttömahdollisuuksia liikkuvan kaluston polttoaineena.

Paikallismoottorien polttoaineeksi biokaasu sopii sitävastoin hyvin.

2.3 Nestemäiset polttoaineet

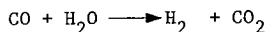
2.3.1 Metanoli

Metanolia valmistetaan puun kuivatislauksella ja synteettisesti. Kuivatislaus on metanolin saannin kannalta varsin tehoton menetelmä, eikä liene sen takia kiinnostava laajamittaista valmistusta silmälläpitäen.

Synteettisesti metanolia valmistetaan ns. synteetikaasusta, joka sisältää hiilimonoksidia ja vetyä suhteessa 1:2. Paineessa, korkeassa lämpötilassa ja katalyyttien avulla saadaan aikaan reaktio:



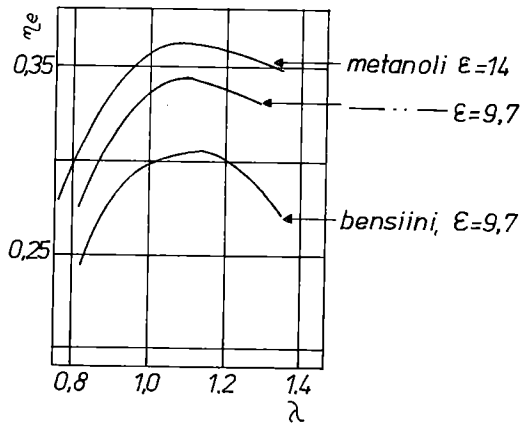
Synteetikaasu puolestaan voidaan valmistaa esimerkiksi puusta, turpeesta oljista tai kaupunkijättestä. Kaasutuksella saadaan aikaan puukaasun kaltainen seos, josta sopimattomat aineosat poistetaan. Tarvittava lisävyty saadaan vesihöyrystä reaktion



mukaisesti.

Metanolin lämpöarvo on huomattavasti alhaisempi kuin bensiinin. Pienemmän ilmantarpeen ja suuremman höyrystyslämmön takia metanoli-ilma-seoksella saadaan sylinteritäytöksen energiasisältö kuitenkin hieman korkeammaksi kuin bensiinillä. Metanolin korkea höyrystyslämpö alentaa seoksen lämpötilaa ja siten parantaa moottorin volumetrasta hyötysuhdetta. Metanolimoottorista saadaan siis korkeampi teho kuin bensiinimoottorista. Edelleen metanolimoottorin tehoa parantaa palamisen yhteydessä tapahtuva täytöksen tilavuuden laajeneminen, joka on suurempi kuin poltettaessa esimerkiksi bensiini-ilmaseosta.

Tämä johtaa tehollisen hyötysuhteen paranemiseen. Metanolin puristuskestävyys on erittäin hyvä. Oktaaniluku on 110 (MOZ). Moottorin puristussuhde voi metanolia polttoaineena käytettäessä olla 12...14. Myös tämä osaltaan parantaa moottorin hyötysuhdetta.



Kuva 2.3.1 Moottorin hyötysuhde metanoli- ja bensiinikäyttöisenä

Kuvassa 2.3.1 on esitetty erään ottomoottorin metanoli- ja bensiinimuunnoksen hyötysuhdekuvaajat (25).

Suurimmat vaikeudet käytettäessä metanolia moottorin polttoaineena kohdataan kylmäkäynnistyksessä. Ilman erityistoimenpiteitä ei metanolimoottorin käynnistäminen ole mahdollista alle $+5^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa. Tämä johtuu metanolin alhaisesta höyrynpaineesta. Metanoli ei höyrysty ja syttyvää seosta ei synny. Käynnistysvaiheessa joudutaan käyttämään helpommin haihtuvaa polttoainetta, joko lisäämällä sitä metanolin joukkoon tai käyttämällä sitä erikseen käynnistyspolttoaineena. Metanolin höyrystymistä voidaan auttaa myös lämmittämällä imusarjaa metanoliliekillä tai sähköllä.

Dieselmoottorien polttoaineeksi metanoli ei sellaisenaan sovi lähinnä korkean puristuksenkestävyytensä takia. Metanoli ei syty sylinteriin ruiskutettuna samalla tavoin kuin dieselöljy.

Metanolin käyttö on kuitenkin mahdollista ns. sekakäyttönä. Sekakäytössä moottorin imusarjaan tai sylintereihin ruiskutetaan metanolia, joka sytytetään pienellä määrällä sytytyspolttonestettä. Sytytyspolttonesteenä käytetään dieselpolttonestettä tai muuta puristuksessa syttyvää nestettä.

Tässä sovelluksessa moottorissa tarvitaan kahdet polttonestelaitteet.

Metanolin syttyvyyttä voidaan parantaa sekoittamalla siihen herkästi puristuksessa syttyviä lisäaineita. Tutkimustyö näiden aineiden osalta on vasta alussa, joten tarkempia tietoja ei vielä ole saatavana.

Metanoli-bensiiniseos

Moottoribensiinin joukkoon voidaan sekoittaa n. 15 % metanolia tarvitsematta tehdä muutoksia moottoriin. Metanoliseostuksen ansiosta moottorin hyötysuhde paranee osakuormilla. Lisäksi moottoria voidaan käyttää entistä laihemmilla seoksilla. (25)

Metanolin lisääminen bensiiniin parantaa seoksen puristuksenkestävyyttä, jolloin bensiinin sisältämän lyijyn määrää voidaan vähentää. Bensiini-metanoliseoksen käytössä on myös omat ongelmansa. Metanoli erkaanee seoksesta, mikäli pieni määrä vettä pääsee seokseen. Esimerkiksi 600 ppm vesipitoisuus saa aikaan faasien erkautumisen -17°C lämpötilassa.

Seokseen voidaan lisätä isopropanolia, jolloin erkanemistaipumus heikenee. Esimerkiksi 1 % IPA-lisäys siirtää erkanemislämpötilaa 10°C alemmaksi tai sallii 2,5 kertaisen vesipitoisuuden (1500 ppm) samassa lämpötilassa (-17°C).

Metanoli muodostaa bensiinin hiilivetyjen kanssa aseotrooppisen seoksen. Tästä seuraa metanoli-bensiiniseoksen höyrynpaineen nousu korkeammaksi kuin bensiinin höyrynpaine. Kun ulkolämpötila on korkea saattaa polttoainejärjestelmään muodostua höyrylukko. Tämä voi aiheuttaa esimerkiksi kuumakäynnistysvaikeuksia.

Lisäksi on huomattava, että metanoli on voimakas liuotin ja myrky sekä aiheuttaa korroosiota. Esimerkiksi messinki ei kestä pitkäaikaista altistusta metanolille. Polttonestelaitteiston tiivisteet saattavat myös syöpyä metanolin vaikutuksesta. Tehdyissä kokeissa on havaittu metanoli-bensiiniseosta käytettäessä epäedullisia vaikutuksia moottoriöljyyn. Tarkemmat tutkimukset olisivat tarpeen.

2.3.2 Etanoli

Etanolia valmistetaan erilaisista tärkkelys- tai sokeripitoisista raaka-aineista käymisprosessin avulla. Käymisen kautta saadaan noin 12 % etanolia sisältävä liuos, joka on väkevöitävä tislaamalla 99 % pitoisuuteen. Etanolin valmistuksen lähtöaineina tulevat kysymykseen vilja, peruna, sokerijuurikas, olki ja sulfiittiselluloosateollisuuden jäte-liemi. Taulukossa 1 on esitetty eri lähtöaineista saatava etanolimäärä, saanto pinta-alayksikköä kohden ja tuotannon energiatase.

Yhden traktorin vuotuisen polttonestetarpeen tyydyttämiseen tarvitaan, jos viljellään energiakasvina esim. perunaa, noin 5,5 ha viljelypinta-ala. (Käyttö 500 h/a, diesel pa. kulutus 8...10 l/h.) Tämän lisäksi tarvitaan sytytyspolttonestettä n. 1 m³.

Taulukossa mainittu etanolin valmistus oljesta on uusi Tanskassa kehitetty energiataloudeltaan optimoitu prosessi. Aiemmin käytetyissä etanolin valmistusmenetelmissä ei ole kiinnitetty erityistä huomiota energiataseeseen. Käyttämällä prosessin hukkalämpö hyödyksi on päästy huomattavan hyvään energiataseeseen. Oljella on kuitenkin muita kilpailevia käyttökohteita, esimerkiksi rehuna ja lämmityspolttoaineena.

Sulfiittiselluloosateollisuuden jäteliemestä saatava etanolin määrä vähenee vuosittain. Sulfiittikeitto on vanhentunut valmistusmenetelmä, joka on väistymässä sulfaattikeiton tieltä. Tätä kautta ei ole saatavissa mainittavia määriä etanolia moottoripolttoaineeksi.

Etanolin käyttö moottoreissa

Etanolin käyttö ottomoottorien polttoaineena tapahtuu samoja periaatteita noudattaen, jotka edellä on esitetty metanolin yhteydessä. Samoin dieselmoottoreille pätee sama mitä edellä on esitetty metanolilla käsiteltäessä.

Etanolia käytettäessä kylmäkäynnistysvaikeudet ovat suuremmat kuin metanolilla, koska etanolin höyrynpaine on alhaisempi kuin metanolin.

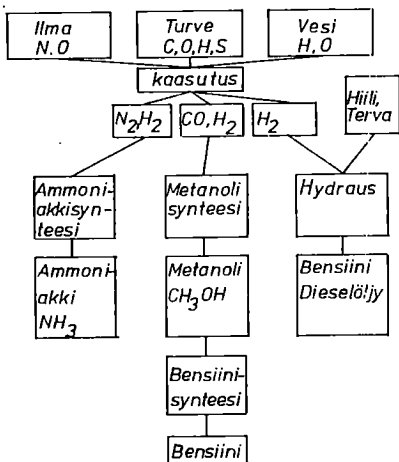
2.3.3 Synteettinen bensiini

Synteettinen bensiini valmistetaan synteetikaasusta tai metanolista. Käytettävissä olevista menetelmistä mainittakoon Saksassa 1940-luvulla käytetty Fischer-Tropsch-menetelmä, jossa hiilestä valmistetusta synteetikaasusta, tai miaakaasusta, valmistettiin nestemäistä polttoainetta diesel- ja ottomoottoreille. (34)

Toinen valmistustapa on hydraus, jossa katalysaattorien läsnäollessa, korkeassa paineessa ja lämpötilassa kiinteästä polttoaineesta, esim. ruskohiilestä tai turpeesta, valmistetaan korkeaoktaanista bensiiniä. Valmistusmenetelmät ovat varsin mutkikkaita ja saatu polttoneste tulee kalliiksi. Viime vuosina on näitä menetelmiä lähdetty kehittämään edelleen (esim. Mobil-prosessi). Kehitystyö on vielä kesken, mutta on todennäköistä, että muutaman vuoden kuluttua on öljypohjaiselle moottoripolttoaineelle tarjolla kilpailukykyinen synteettisesti valmistettu vastine. Etenkin mikäli öljyn hintakehitys on tulevaisuudessa sama mikä se on ollut viime vuosina.

Synteettisen bensiinin etuina muihin nestemäisiin polttoaineisiin (metanoli, etanoli) verrattuna on, ettei olemassa olevaan ajoneuvokantaan tarvitsisi tehdä muutoksia, vaan uusi polttoneste kelpaili sellaisenaan. Lisäksi synteettisesti valmistettaessa bensiinin oktaaniluku saadaan riittävän korkeaksi joko ilman tai hyvin vähäisellä määrällä lisäainetta. Näin myös saasteongelmat jäävät pienemmiksi.

Kuvassa 2.3.2 on esitetty esimerkkinä mahdolliset turpeen käyttötavat synteettisten polttonesteiden valmistuksessa. Kuvassa näkyvän ammoniakisynteessin kautta valmistetaan typpilannoitteita, jotka nekin valmistetaan nykyisin öljystä.



Kuva 2.3.2 Polttonesteen valmistus turpeesta

2.3.4 Kasviöljyt

Erlaisia kasviöljyjä voidaan käyttää dieselmoottorien polttoaineena. Näiden öljyjen käyttöä on tähän mennessä tutkittu hyvin vähän. Rapsi- ja auringonkukkaöljyllä tehdyt kokeet ovat antaneet lupaavia tuloksia. (31)

Moottoriteho on kasviöljyä polttoaineena käytettäessä likimain sama kuin dieselöljyjä ajettaessa, samoin moottorin hyötysuhde. Nämä öljyt eivät aiheuta myöskään poikkeavaa moottorin likaantumista tai kulumista.

Kasviöljyjen viskositeetti on huomattavasti korkeampi kuin dieselpolttonesteen. Niitä on ohennettava dieselpolttonesteellä, sopivilla lisäaineilla tai lämmitettävällä juoksevuuden parantamiseksi, jotta niiden käyttö olisi mahdollista dieselmoottorin polttoaineena. Eräät kasviöljyt, kuten

pellavaöljy, hapettuvat herkästi. Näiden käyttö polttoaineena ei ole mahdollista. Kasviöljyjen valmistuksessa saadaan polttonesteen lisäksi valkuaisrehuksi hyvin sopivaa puristusjätettä. Kasviöljyjen käyttö dieselpolttonesteenä saattaisi tulla kysymykseen, mikäli dieselöljyn saanti rajoittuu. Osa dieselöljystä, aina 50 % asti voitaisiin korvata ilman moottoreihin tehtäviä muutoksia sekoittamalla joukkoon esimerkiksi rapsiöljyä. Polttonesteen esilämmittimellä varustettuna voitaisiin dieselmoottorin polttoaineena käyttää pelkästään kasviöljyä.

Erilaisten kasviöljyjen ominaisuuksien ja käytön taloudellisuuden tarkempi tutkimus on tarpeen. Tällä hetkellä öljytuotanto maassamme on varsin vähäistä verrattuna mahdollisen kriisiajan tarpeeseen (taulukko 1).

3. Puukaasu moottoripolttoaineena

3.1 Laitteiston toiminta

Puukaasutinlaitteiston pääosat ovat: kaasun kehitin, suodatin, jäähdytin ja sekoitin (kuva 3.1.1).

Puukaasu muodostuu kaasun kehittämissä, sieltä se johdetaan suodattimeen, jossa kaasusta poistetaan tuhka ja noki. Suodatuksen jälkeen kaasu jäähdytetään lähelle ulkoilman lämpötilaa. Sekoittimessa kaasuun sekoitetaan sopiva määrä ilmaa palamiskelpoisen seoksen aikaansaamiseksi. Muodostettu seos johdetaan moottoriin. Moottorikäyttöön tarkoitettu puukaasu valmistetaan myötävirtakaasuttimessa (kuva 3.1.2). Tällaisen kaasunkehittimen toiminnassa on erotettavissa seuraavat tapahtumat:

Kuivaus ja hiiltyminen

Palamisilma johdetaan kehittimeen ilmasuutinten kautta. Suutinten eteen muodostuu palamisvyöhyke, jonka lämpö kuivaa ja osittain hiiltää yläpuolella olevan polttoaineen. Osa polttoaineen sisältämästä vedestä höyrystyy lämmön vaikutuksesta.

Veden tiivistyminen

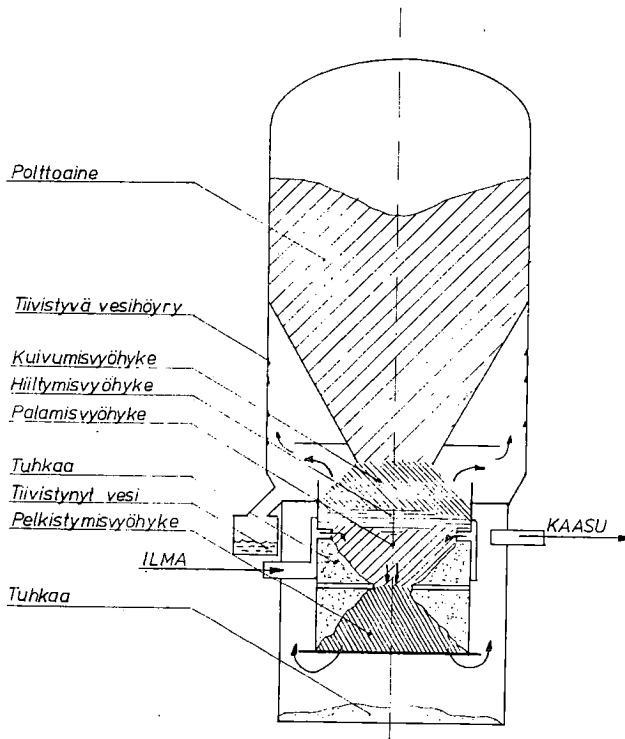
Polttoaineesta höyrystynyt vesi tiivistyy kehittimen ulkovoipan sisäpinnalle ja valun kondenssisäiliöön. Tiivistynyt vesi sisältää myös tervaa ja etikkahappoa.

Palaminen

Palamisvyöhykkeessä puu hajoaa ja sen aineosat yhtyvät happeen muodostaen pääasiassa hiilidioksidia ja vettä.

Pelkistyminen

Palamisvyöhykkeen alapuolella tapahtuu pelkistyminen. Pelkistymisvyöhykkeen muodostaa hehkuva hiilikerros.



Kuva 3.1.2 Kaasunkehittimen toimintaperiaate

Kun palamisessa syntyneet kaasut kulkevat pelkistysvyöhykkeen lävitse, hiilidioksidi pelkistyy hiilimonoksidiksi



ja vesi hajoaa vesikaasuksi



Saatava kaasu sisältää veden ja hiilimonoksidin lisäksi pieniä määriä muita palavia aineosia kuten metaania ja raskaampia hiilivetyjä. Nämä syntyvät tervan hajaantuessa palamisvyöhykkeen kuumimmassa osassa. Palavien aineosien lisäksi kaasu sisältää palamattomia komponentteja, lähinnä tyyppiä, hiilidioksidia ja vesihöyryä.

10...20 % vettä sisältävää puuta kaasutettaessa saadaan kaasua, jonka koostumus on seuraava:

CO	17...22 %
H ₂	16...20 %
CH ₄	2... 3 %
C _n H _m	0,2...0,4 %
CO ₂	10...15 %
N ₂	45...50 %

Kaasun lämpötila sen tullessa kehittimestä on 200...350°C ja se sisältää erilaisia epäpuhtauksia, lähinnä tuhkaa ja nokea 2...5 g/Nm³. Moottoriin päästessään nämä epäpuhtaudet aiheuttaisivat eri osien nopean kulumisen. Lisäksi ne tukkisivat jäähdyttimen ja kaasuputkiston. Kiinteät epäpuhtaudet suodatetaan kaasusta lasikuitukangassuodattimella, jolla saavutetaan 99,9 % puhdistusaste.

Suodatuksen jälkeen kaasun lämpötila on edelleen korkea, 150...200°C. Moottoritehon parantamiseksi kaasu jäähdytetään lämpötilaan 20...30°C. Näin saadaan moottorin volumetrinen hyötysuhde paremmaksi ja siten myös moottoriteho paranee. Sekoittimessa puhdistettuun ja jäähdytettyyn kaasuun sekoitetaan ilmaa. Seossuhde on noin 1:1, sen suuruus riippuu kaasun koostumuksesta. Muodostettu palava kaasuseos syötetään moottoriin.

3.2 Moottorin muuttaminen puukaasukäyttöiseksi

3.2.1 Ottomoottorit

Ottomoottorin muuttaminen puukaasukäyttöiseksi on helposti toteutettavissa. Moottorin imusarjaan asennetaan kaasuttimen paikalle kaasun sekoitin tai mahdollisesti sekoitin-kaasutinyhdistelmä, jolloin ajoneuvolla voidaan ajaa myös nestemäistä polttoainetta käyttäen.

Sytytysajankohta säädetään aikaisemmaksi. Tämä on tarpeen kaasu-ilmaseoksen hitaan palamisen takia. Sopiva sytytysennakon arvo on selvitettävä moottorikohtaisesti koeajojen avulla.

Puukaasukäyttöiseksi muutetusta ottomoottorista saadaan noin 50 % moottorin bensiinitehosta (14). Tehon lasku johtuu seuraavista tekijöistä:

- Ilma-kaasuseoksen lämpöarvo on $2,5 \text{ MJ/m}^3$ kun ilma-bensiiniseoksen vastaava arvo on $3,7 \text{ MJ/m}^3$. Kaasuseoksen lämpöarvo on siis noin 30 % alhaisempi.
- Kaasuseoksen syttymisnopeus on alhainen bensiini-ilmaseokseen verrattuna. Tämän takia sytytysennakkoa on lisättävä, mikä puolestaan lisää negatiivisen työn määrää kiertoprosessissa.
- Kaasunkehitinlaitteisto aiheuttaa täydellä kuormalla n. 10 kPa alipaineen moottorin imusarjaan. Tämä heikentää moottorin volumetrasta hyötysuhdetta. Myös kaasuseoksen lämpötila on korkeampi kuin bensiini-ilmaseoksen mikä myös alentaa mainittua hyötysuhdetta.

Viimeksi mainittuihin syihin voidaan vaikuttaa konstruktiivisin keinoin. Näiden syiden osuus tehohäviöistä on kuitenkin niin pieni, että kaasukäyttöisen moottorin antama teho jää joka tapauksessa huomattavasti moottorin bensiinikäyttöisenä antaman tehon alapuolelle.

3.2.2 Dieselmoottorit

Dieselmoottorit voidaan muuttaa kaasukäyttöisiksi kahdella eri tavalla:

Moottorit varustetaan sähkösytytyslaittein, jolloin ne käyvät kaasulla ottomoottorin tavoin.

Toinen mahdollisuus on ns. dieselkaasukäyttö. Moottoriin imetty kaasuseos sytytetään sylinteriin ruiskutettavalla sytytyspolttonesteannoksella, jonka suuruus on noin puolet moottorin normaalisti tyhjäkäynnillä saamasta polttonesteannoksesta.

Ensin mainittu muutostapa sopii kaikille dieselmoottoreille. Se on kuitenkin varsin suuriteho ja moottoriteho alenee noin 50 %. Jälkimmäinen muutos on helpompi suorittaa ja moottorin tehon aleneminen on vain 20...30 %. Dieselkaasukäyttö soveltuu kuitenkin lähinnä suoraruiskutusmoottoreille.

3.2.2.1 Etu- ja pyörrekammiodieselmoottorit

Nämä moottorityypit on varustettava sähkösytytyslaittein. Lisäksi moottorin puristussuhde alennetaan arvoon 10:1. Puristussuhdetta alennettaessa tarvitaan uudelleen muotoillut männät tai sylinterinkansi. Puristussuhdetta voidaan alentaa myös asentamalla moottoriin paksumpi sylinterin-kannen tiiviste. Tämä vaikuttaa kuitenkin epäedullisesti palotilan muotoon.

Myös sytytystulppien asennusta varten on sylinterinkanteen tehtävä muutoksia. Muutostöiden laajuus riippuu moottorityypistä. Yleensä tarvitaan moottorin valmistajan apua erikoisosien valmistamiseksi.

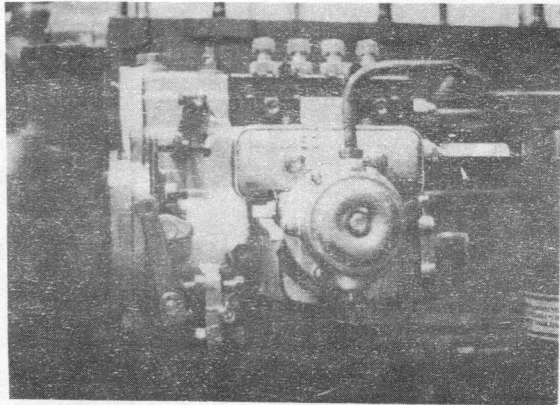
3.2.2.2 Suoraruiskutusdieselmoottorit

Tämä moottorityyppi voidaan helposti muuttaa toimimaan dieselkaasuperiaatteella.

Moottoriin ei tarvitse tehdä muutoksia mikäli puristussuhde on luokkaa 16...17. Puristussuhteen suurin sopiva arvo riippuu moottorin rakenteesta

ja voidaan selvittää kokeilemalla. Liian korkea puristussuhde aiheuttaa nakutusta. Mikäli nakutusta ilmenee, on puristussuhde laskettava arvoon 16 (3).

Tärkeimmät muutostyöt tehdään moottorin polttonestelaitteisiin. Ruiskutuspumppu säädetään siten, että se antaa dieselkaasukäyttöön sopivan, pienen ruiskutusannoksen. Sopiva annoksen suuruus on $6...13 \text{ mm}^3$ sylinterin tilavuudesta riippuen (kuva 3.3.6). Ruiskutusannoksen tulee olla kullekin sylinterille yhtä suuri ja sen tulisi pysyä vakiona moottorin pyörimisnopeuden muutoksista riippumatta. Tämä voidaan järjestää esimerkiksi seuraavalla tavalla: Ruiskutuspumppun pysäytysvivun liike 0-syöttöasentoa kohti rajoitetaan säätöruuvilla. Kun pysäytysvipu painetaan säätöruuvia vasten ja samalla pumpun nopeudensäätövipu käännetään täysin auki, voidaan säätöruuvilla säätää pumpun antama ruiskutusannos halutun suuruiseksi (kuva 3.2.1).



Kuva 3.2.1 Ruiskutuspumppuun asennetut ruiskutusannoksen rajoittimet

Kaikkia ruiskutuspumppuja ei voida näin säätää antamaan riittävän alhais- ta polttonesteannosta. Tällöin on käännyttävä pumpun valmistajan puo- leen, joka voi muuttaa pumpun sisäistä rakennetta siten, että tavoitel- tu ruiskutusannos saavutetaan.

On pidettävä huolta siitä, ettei minkään sylinterin ruiskutusannos jää alle 6 mm^3 . Mainittua pienemmillä annoksilla ruiskutuslaitteiden jäähdytys jää riittämättömäksi. Mainittu alaraja on karkea ohjearvo. Eri moottorityypeillä minimiarvo riippuu moottorin jäähdytyksen tehokkuudesta.

Ruiskutuspumput voidaan säätää parhaiten koepenkissä koeajamalla. Näin saadaan mahdollisimman realistinen kuva siitä, miten laitteisto käyttäytyy moottoriin asennettuna. Mikäli koepenkkiä ei ole käytettävissä, voidaan karkea säätö tehdä seuraavasti:

Moottoria käytetään normaaliämpöisenä tyhjäkäynnillä. Pysäytinvipua säädetään hitaasti kohti 0-syöttöasentoa. Kun moottori pysähtyy, voidaan olettaa, että ruiskutusannos on $10...15 \text{ mm}^3$. Tästä asemasta vipua säädetään vielä hieman eteenpäin.

Polttonesteannoksen säädön lisäksi ruiskutusennakko säädetään aikaisemmaksi. Sopiva ohjearvo ruiskutusennakon suuruudelle dieselkaasukäytössä on $20...30^0$ eykk. Säätö on selvitetty koeajoilla.

Ruiskutusennakon muutos vaikeuttaa moottorin kylmäkäynnistystä. Käynnistykseen helpottamiseksi moottori on syytä varustaa lohkolämmittimellä. Dieselkaasukäyttöinen moottori käynnistetään dieselinä ja moottorin lämmettyä siirrytään dieselkaasukäyttöön. Mikäli moottorin pyörimisnopeuden tasaisuudelle asetetaan erityisiä vaatimuksia, esimerkiksi traktoreissa, moottori varustetaan keskipakosäätimellä. Säädin ohjaa moottorin kaasuläppää ja saa käyttövoimansa kiilahihnan välityksellä moottorin kampiakselilta. Autoissa tällainen säädin ei ole tarpeellinen.

Dieselkaasukäyttöisestä moottorista saadaan 70...80 % moottorin dieselinä antamasta tehosta. Sytytyspolttonestettä moottori kuluttaa noin 20...25 % verrattuna kulutukseen ajettaessa pelkästään nestemäisellä polttoaineella.

3.2.2.3 Turboahdetut dieselmoottorit

Näiden moottorien muuttamiseen kaasukäyttöiseksi liittyy eräitä ratkaisemattomia ongelmia, joiden takia ahdin on jätettävä pois kaasukäyttöisestä moottorista.

Puristusaine nousee turboahdetussa moottorissa niin korkeaksi, että kaasu ei kestä sitä nakuttamatta. Tämä voitaisiin välttää alentamalla puristussuhdetta. Puristusuhteen alentaminen kuitenkin vaikeuttaa moottorin käynnistystä.

Nykyiset ahtimet eivät siedä imupuolellaan sellaisia alipaineita, joita puukaasulaitteisto aiheuttaa. Liian korkea alipaine johtaa ahtimen sakkaukseen, jolloin se saattaa vaurioitua. Lisäksi alipaine aiheuttaa öljyvuotoa ahtimen akselitiivisteiden kautta imusarjaan. (13)

Ilmeisesti ahtimen tarjoamia etuja voitaisiin käyttää hyväksi dieselkaasukäytössä sopivalla ahdintyyppillä, jonka suunnittelussa olisi otettu huomioon alipaineen vaikutukset. Ahtopaineelle ja puristussuhteelle on löydettävissä kaasukäyttöön sopivat arvot. Asia vaatii runsaasti lisätutkimusta.

3.3 Laitteiston suunnittelu

3.3.1 Kaasunkehittimen polttoaine

Kaasunkehittimessä käytettäväksi sopivaa polttoainetta saadaan lähinnä puusta. Myös eräät turpeesta valmistetut polttoaineet saattaisivat tulla kyseeseen. Turvepohjaisia polttoaineita kokeiltiin 30- ja 40-luvuilla (1). Koetulokset olivat yleensä negatiivisia. Turpeen runsas tuhkapitoisuus tukki kehittimen pelkistyskerroksen.

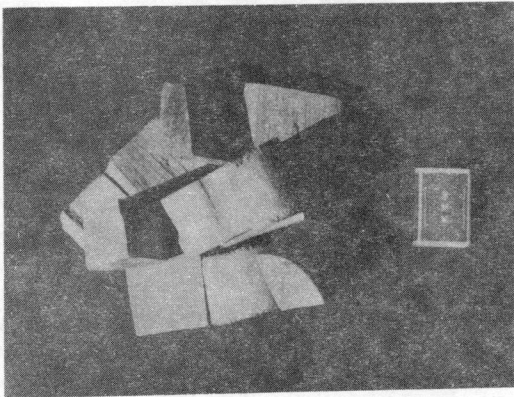
Lisäksi turpeen tuhka sulaa alhaisessa lämpötilassa ja muodostuva kuona aiheuttaa käyntihäiriöitä kehittimessä. Turvetta kokeiltiin puulle suunnitelluissa kaasunkehittimissä. Kokeiden päätteeksi esitettiin eräitä ehdotuksia kehittimen muuttamiseksi sellaiseksi, että se toimisi myös turpeella. Näitä ajatuksia ei ole kuitenkaan kokeiltu käytännössä.

Tällä alalla olisi tutkimustyö tarpeen. Uudet turpeen jalostustuotteet, pelletit ja brikitit saattaisivat sopia kaasunkehittimen polttoaineeksi kun laite suunniteltaisiin niiden käyttöä silmällä pitäen.

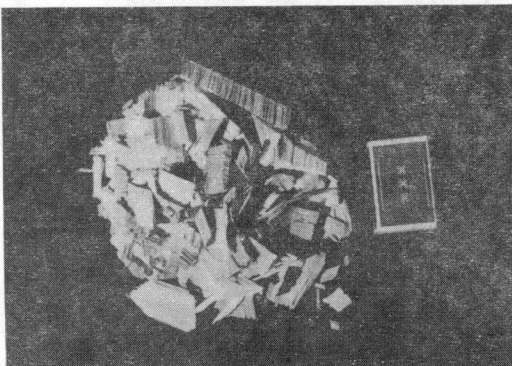
Tärkein kaasunkehittimen polttoaine on kuitenkin puu. Puuta voidaan käyttää pilkottuna, hakkeena ja hiileksi valmistettuna.

Hiili ei ole taloudellinen polttoaine. Yhden hiilikuutiometrin valmistamiseen tarvitaan $2,5 \text{ i-m}^3$ puuta. Valmistetun hiilen energiasisältö ei kuitenkaan ole mainittavasti puun energiasisältöä parempi. Hiilen valmistukseen tarvitaan hiiltouuni. Toisaalta hiilen valmistuksen yhteydessä saadaan muitakin tuotteita, kuten tervaa ja metanolia. Lisäksi hiilikaasuttimet ovat rakenteeltaan puukaasuttimia yksinkertaisempia.

Pilke (kuva 3.3.1) on varsin paljon työtä vaativa polttoaine. Sen käyttö voi kuitenkin tulla kysymykseen jollei hakkeen valmistukseen tarvittavia välineitä ole saatavana. Pilkkeen valmistus voidaan suorittaa varsin yksinkertaisin välinein. Pilkekaasuttimiin sopivaa polttoainetta voidaan valmistaa myös ns. palahakkurilla, jonka tuottama hake on riittävän karkearakeista.



Kuva 3.3.1 Pilkettä



Kuva 3.3.2 Haketta

Sopivin polttoaine valmistuksensa kannalta on hake (kuva 3.3.2). Kaasunkehittimen polttoaineeksi sopivan hakkeen palakoko on tasainen eikä siinä ole mukana hienojakoista purua tai pitkiä tikkuja. Tavallisella pienhakkurilla valmistettu hake on seulottava 50 x 50 mm ja 10 x 10 mm seuloilla, jotta sen koostumus olisi kehittimen polttoaineeksi sopiva. Hake ei ominaisuuksiensa takia sovi pilkkeille tarkoitettuun kehittimeen. Pilke sensijaan sopii pienin kehittimeen tehtävin muutoksin hakkeelle tarkoitettun kehittimen polttoaineeksi. Kuvassa 3.3.13 on esitetty hakekehittimen muoto ja sama kehitin pilkkeelle sopivaksi muutettuna.

Kaikkien puulajien lämpöarvo painoyksikköä kohti on lähes sama. Eri puulajien välillä ei ole suuria eroja soveltuvuudessa kaasunkehittimen polttoaineeksi. Kehittimen toiminnan kannalta on kuitenkin edullisinta käyttää joko puhdasta lehtipuuhaketta tai haketta, jossa on yhtä suuret osat lehti- ja havupuuta.

3.3.2 Moottorin kaasuntarve

Lähtökohdan kaasunkehittimen suunnittelulle polttoaineen valinnan lisäksi muodostaa moottorin kaasun kulutus täydellä kuormituksella. Kehittimen mitoituksen on oltava moottorille sopiva, jotta välttyttäisiin käyttöhäiriöiltä ja moottorista saataisiin mahdollisimman suuri teho.

3.3.2.1 Ottomoottorin kaasun kulutus

Kun kaasua käytetään moottorin polttoaineena siihen sekoitetaan tietty määrä ilmaa palamiskelpoisen seoksen muodostamiseksi. Moottorissa käytettävän kaasun-ilmaseoksen ilmantarve määritetään lausekkeella:

$$V_o = (1/0,21)(m/2 + h/s + 2r + 4s + 6t) \quad (3.3.1)$$

$$V_o = \text{kaasun ilmantarve } \frac{\text{Nm}^3}{\text{Nm}^3} \text{ kaasua}$$

$$m = \text{CO:n \% -osuus} \quad (\text{tilavuus-\%})$$

$$h = \text{H}_2\text{:n \% -osuus}$$

$$r = \text{CH}_4\text{:n \% -osuus}$$

$$t = \text{C}_n\text{H}_m\text{:n \% -osuus}$$

$$s = \text{C}_2\text{H}_4\text{:n \% -osuus}$$

Kehittimen mitoitusta varten voidaan 4-tahtisen ottomoottorin kaasun-
tarve määrätä lausekkeella

$$G = \frac{V \cdot n \cdot \eta_v \cdot x \cdot \lambda}{2} \quad (3.3.2)$$

G = kaasun määrä Nm³/s

V = moottorin iskutilavuus m³

n = moottorin pyörimisnopeus r/s

η_v = moottorin volumetrinen hyötysuhde kaasukäytössä

λ = ilmakerroin

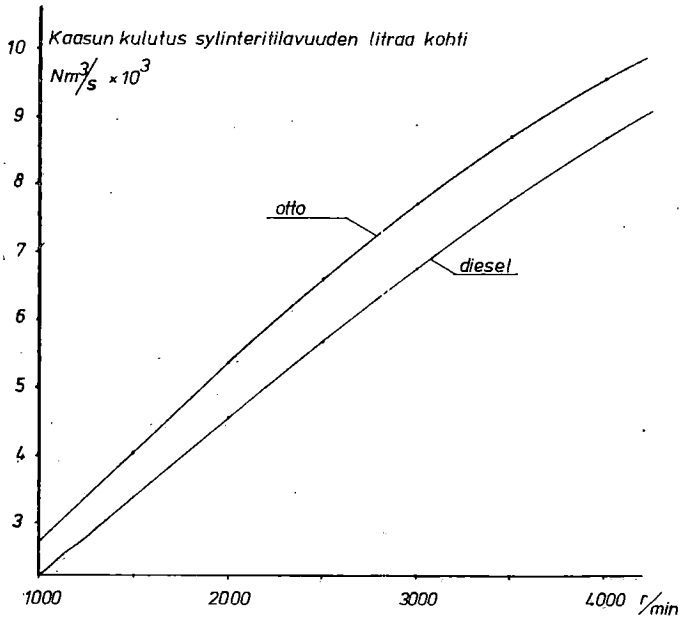
x = kaasun murto-osa kaasu-ilmaseoksesta

Ilmakertoimen arvoksi oletetaan 0,9...1 (suurin teho ottomoottorista
saadaan pienellä ilma-alimäärällä).

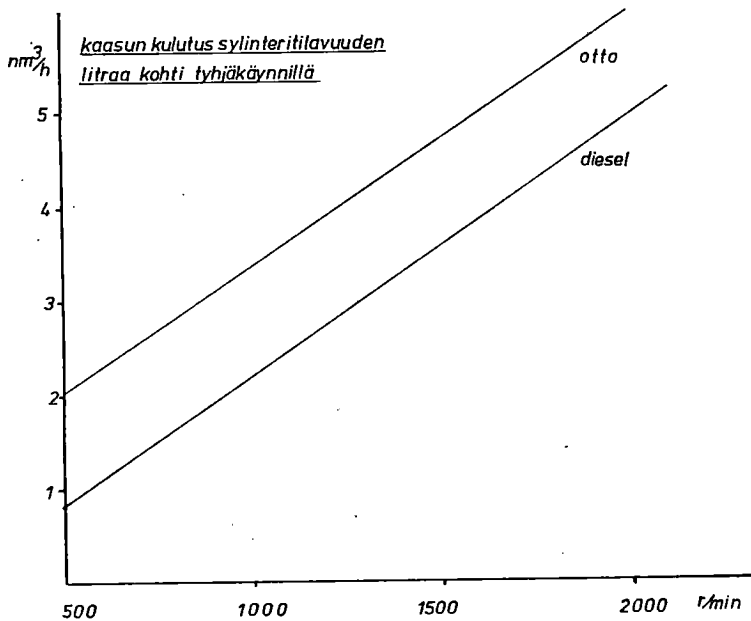
Volumetrinen hyötysuhdetta arvioitaessa on otettava huomioon kehitin-
laitteiston aiheuttama alipaine sekä seoksen korkea lämpötila imukana-
vissa kun bensiinin jäähdyttävä vaikutus puuttuu. Toisaalta kun imusar-
jan esilämmitys on poistettu käytöstä ja moottoriin asennettu mahdol-
lisesti väljempi imusarja ei volumetrinen hyötysuhde välttämättä huo-
none.

Likimääräisesti kaasun kulutus voidaan määrätä kuvassa 3.3.4 esitetyn
diagrammin avulla.

Moottorin kaasun kulutus tyhjäkäynnillä tulee myös tarkistaa. Kaasun-
kehittimessä on vallittava tietty minimivirtaus, ettei tulipesän läm-
pötila laskisi liikaa, jolloin tervaa pääsee kaasun mukana moottoriin.
Tyhjäkäyntikulutus riippuu moottorin pyörimisnopeudesta ja seossuh-
teesta. Kuvan 3.3.5 perusteella voidaan arvioida moottorin kaasun ku-
lutus tyhjäkäynnillä. Kulutus ei saa olla pienempi kuin 1/10 moottorin
täyden kuorman kulutuksesta. Riittävän kaasun kulutuksen varmistamiseksi
on moottorin pyörimisnopeutta tyhjäkäynnillä nostettava ja seos on
säädetävä mahdollisimman rikkaaksi.



Kuva 3.3.4 Moottorin kaasun kulutus sylinteritilavuuden litraa kohti (1)

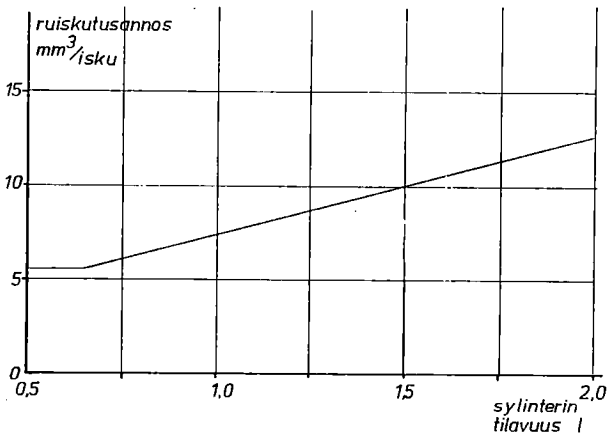


Kuva 3.3.5 Moottorin kaasun kulutus sylinteritilavuuden litraa kohti tyhjäkäynnillä

3.3.2.2 Dieselkaasukäyttöisen moottorin kaasun kulutus

Dieselkaasumoottoriin imetään ilman ja kaasun seosta kuten ottomoottoriinkin. Ilman osuuden seoksessa tulee nyt kuitenkin olla suurempi, koska osa ilman hapesta kuluu sytytyspolttonesteen palamiseen.

Sopiva sytytysannos suoraruiskutusdieselmoottorille määrätään kuvan 3.3.6 mukaan.



Kuva 3.3.6 Suositeltava ruiskutusannoksen suuruus sylinterin tilavuuden funktiona (3)

Tämän perusteella voidaan laskea moottorin sytytyspolttonesteen ominaiskulutus lausekkeella

$$b_c = V_p \cdot \rho_p \quad (3.3.3)$$

b_c = polttonesteen kulutus kg/sytytys

V_p = ruiskutettu polttoaineen tilavuus/sytytys

ρ_p = polttonesteen ominaispaino

Edelleen polttonesteen massavirta määrätään lausekkeella

$$B = \frac{b_c \cdot n \cdot i}{2} \quad (3.3.4)$$

- B = polttonesteen massavirta kg/s
n = moottorin pyörimisnopeus
i = moottorin sylinterien lukumäärä

Kun tunnetaan lisäksi moottorin volumetrinen hyötysuhde puukaasukäytössä ja ilmakerroin, voidaan moottorin sylinteritilavuuden osa, joka kuuluu sytytyspolttonesteen polttamiseen määrätä lausekkeella:

$$V_i = \frac{b_c \cdot L_o \cdot i \cdot \lambda}{\rho_o \cdot \eta_v} \quad (3.3.5)$$

- L_o = polttonesteen tarvitsema teoreettinen ilmamäärä 14,5 kg/kg
 ρ_o = ilman tiheys
 λ = sytytyspolttonesteen polton ilmakerroin
 η_v = volumetrinen hyötysuhde

Voidaan siis ajatella, että $V_{i,s}$:n suuruinen osa moottorin iskutilavuudesta toimii pelkästään sytytyspolttonesteen tarvitseman ilman sisäänottajana. Tämä tilavuus voidaan vähentää moottorin iskutilavuudesta laskettaessa moottorin kaasunkulutusta.

Tämän jälkeen voidaan kulutus laskea ottomoottorille annettujen kaavojen (3.3.1)(3.3.2) mukaisesti. Ilmakertoimen arvoksi otetaan 1. Dieselmoottorin kaasunkulutus voidaan määrittää likimääräisesti myös käytännön kokeiden avulla piirretyn diagrammin (kuva 3.3.4) mukaan.

Volumetrinen hyötysuhde on dieselkaasukäyttöön muunnetussa moottoris-
sa alhaisempi kuin dieselkäytössä. Tämä johtuu kehitinlaitteiston aiheuttamasta alipaineesta moottorin imu-
sarjassa.

Mitä edellä todettiin ottomoottorien yhteydessä kehittimen minimikaasunkulutuksesta tyhjäkäynnillä, pätee myös dieselkaasukäyttöön. Tyhjäkäyntikulutus voidaan tarkistaa kuvan 3.3.5 avulla. Kulutuksen on oltava vähintään 1/10 maksimikulutuksesta.

3.3.3 Kaasun kehitin

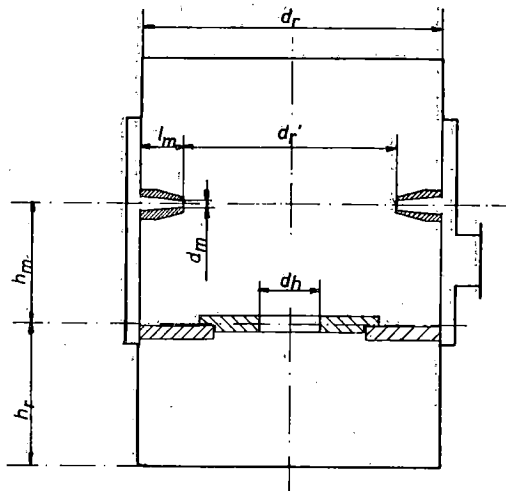
Kehittimen kaasun tuoton on vastattava tarkoin moottorin kaasun tarvetta. Moottorin kaasun kulutus täydellä kuormalla ja tyhjäkäynnillä poikkeavat paljon toisistaan. Kehittimen joustavuudelle asetetaan vaatimukset, jotka vain oikein mitoitettu kehitin voi täyttää. Liian pienessä kehittämissä nousee tulipesän lämpötila materiaalien sietokyvyn yläpuolelle. Lisäksi kaasun lämpöarvo huononee. Liian suuressa kehittämissä tulipesän lämpötila taas laskee tyhjäkäynnillä niin alas, että terva ei enää hajaannu vaan seuraa kaasun mukana suodattimeen.

Kehittimen osat on syytä suunnitella helposti vaihdettaviksi. Tällöin samaa perusrunkoa voidaan käyttää eri kokoisten moottorien yhteydessä vain sisäosien mittoja muuttaen. Samoin laitteen huolto tulee helpommaksi.

3.3.3.1 Tulipesä

Tulipesän oikea mitoitus on kehittimen toiminnan tärkein edellytys.

Seuraavat mitoitusohjeet on laadittu lähteen (1) perusteella. Mainituksessa lähteessä käsitellään pilkekäyttöisen kaasunkehittimen mitoitusta. Näissä ohjeissa annetaan myös tarpeelliset muutokset mittoihin kun kyseessä on hakekäyttöinen kaasunkehitin.



Kuva 3.3.9 Kehittimen tulipesän mitat

Kehittimen toiminnan kannalta tärkeät mitat ovat kuvan 3.3.9 mukaisesti:

- d_h = tulipesärenkaan läpimitta
- d_r = suutinrenkaan läpimitta
- $d_{r'}$ = suutinten kärkiympyrän läpimitta
- l_m = suutinten pituus
- d_m = suutinreiän läpimitta
- h_m = suutintason ja tulipesärengastason välinen etäisyys
- h_r = tulipesärengastason ja arinatason välinen etäisyys

Tulipesäkuormitus

Tulipesän mitoituksen lähtökohtana käytetään ns. tulipesäkuormitusta. Se on kaasun virtausnopeutta tulipesärenkaan läpi kuvaava luku, joka määritellään lausekkeella

$$B_h = \frac{4\dot{V}_g}{d_h^2 \cdot \pi} \quad (3.3.6)$$

- \dot{V}_g = valmistetun kaasun tilavuuvirta Nm^3/s
- d_h = tulipesärenkaan läpimitta m
- B_h = tulipesäkuormitus $\text{Nm}^3/\text{m}^2\text{s}$

Sopiva huippuarvo tulipesäkuormitukselle on 3,5 m/s. (40)

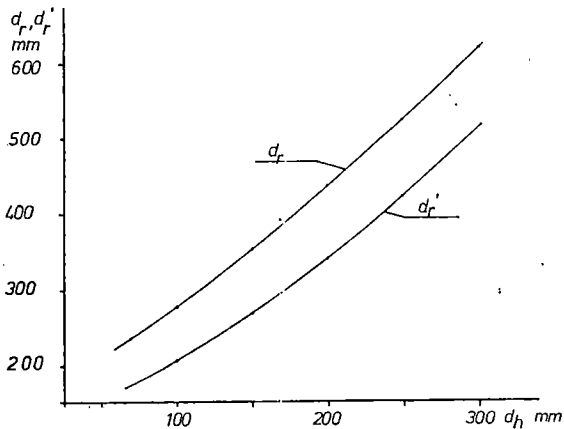
Tulipesärenkaan läpimitta d_h

Kun tunnetaan moottorin kaasun kulutus täydellä teholla, voidaan ylläesitetyn perusteella laskea moottorille sopiva tulipesärenkaan läpimitta lausekkeella

$$d_h = 2 \sqrt{\frac{\dot{V}_g}{3,5 \pi}} \quad (3.3.7)$$

Suutinrenkaan läpimitta d_r

Ensiöilman tulipesään johtavat ilmasuuttimet on kiinnitetty suutinrenkaaseen. Tulipesän sisäläpimitta on yleensä yhtä suuri kuin suutinrenkaan läpimitta. Tällä mitalla on merkitystä lähinnä kehittimen virtausvastusten kannalta. Sopiva arvo d_r :lle voidaan määrätä kuvan 3.3.10 mukaan kun mitoitettavan kehittimen tulipesärenkaan läpimitta, d_h tunnetaan.



Kuva 3.3.10 Suutinrenkaan ja suutinten kärkiympyrän läpimitta (1)

Kuvan 3.3.10 antamat arvot on määriteltä pilkekäyttöiselle kehittimelle. Haketta polttoaineenaan käytävässä kehittimessä d_r tehdään hieman suuremmaksi hakkeen huononnan kaasun läpäisevyyden takia. Sopiva suurenuskerroin on 1,2. (40)

suutinten kärkiympyrän läpimitta d_r'

Kuvassa 3.3.10 on esitetty myös mitan d_r' suuruus d_h :n funktiona. Tämä mitta on tärkeä, jotta palamisvyöhykke muodostuisi oikean muotoiseksi. Mikäli mitta on liian suuri, palaminen tapahtuu avonaisen kartion muodossa ja polttoaine kuivuu huonosti. Mikäli mitta on liian pieni, palamisen huippulämpötila muodostuu ennen tulipesärenkaan kuristuskohtaa ja kaasun laatu jää huonoksi.

Suutinpinta-ala A_m

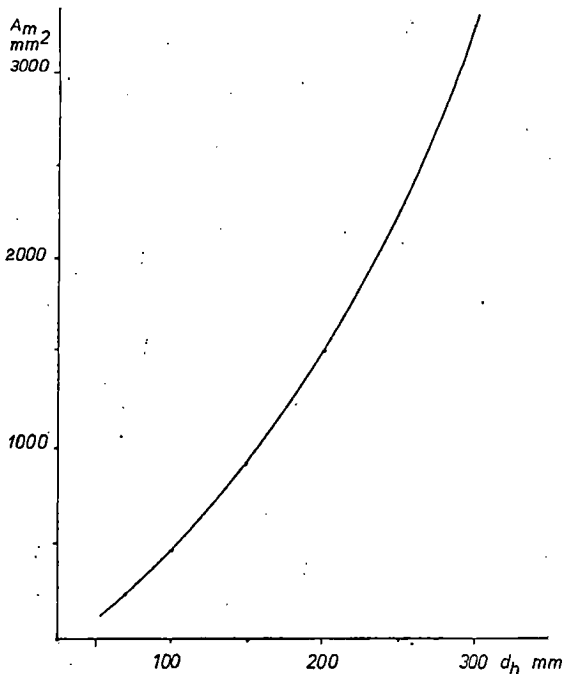
Tämä mitta määritetään lausekkeella

$$A_m = \frac{d_m^2 \cdot \pi \cdot n_s}{4} \quad (3.3.8)$$

- A_m = Suutinpinta-ala
- d_m = suutinaukon läpimitta
- n_s = suutinten lukumäärä

Suutinpinta-alan suuruudella on merkitystä ilman tunkeutumiseen palamisvyöhykkeeseen. Myös palamisvyöhykkeen lämpötila riippuu suutinpinta-alasta.

Sopiva arvo mitalle A_m voidaan määrätä kuvan 3.3.11 perusteella, kun tulipesärenkaan läpimitta d_h tunnetaan. Kuvassa annetut arvot ovat optimimittoja pilkekäyttöiselle kehittimelle. Hakekäyttöä silmälläpitäen on suutinpinta-alaa hieman pienennettävä. Sopiva pienennyskerroin on 0,9. (40)



3.3.11 Suutinpinta-ala tulipesärenkaan läpimitan funktiona (1)

Suutinten lukumäärä

Pilkettä polttoaineenaan käyttävässä kehittämissä sopiva suutinten lukumäärä tulipesärenkaan läpimitasta riippuen on seuraava:

d_h	n_s
70...150	5
150...220	7
220...300	9

Hakekäyttöisessä kehittämissä on syytä käyttää 1...2 suutinta enemmän kuin yllä on suositeltu, jotta ilma jakaantuisi tasaisesti palamisvyöhykkeeseen. Ilma ei kulje hakkeessa yhtä vapaasti kuin pilkkeessä.

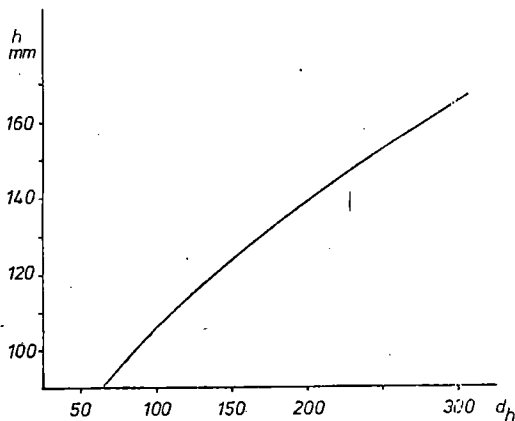
Suutinaukon läpimitta d_m

Suutinaukon läpimitta määrätään, kun n_s ja A_m on määrätty, lausekkeella

$$d_m = \sqrt{\frac{4 A_m}{n_s \pi}} \quad (3.3.9)$$

Suutintason etäisyys tulipesärenkastasosta h_m

Tämä mitta voidaan määrätä kuvan 3.3.12 mukaan. Mitta on suhteellisen kriittinen. Tulipesärenkaan korkeussäädöllä se voidaan säätää täsmälleen oikeaksi.



Kuva 3.3.12 Mitan h_m riippuvuus tulipesärenkaan läpimitasta (1)

Tulipesärengastason ja arinatason välinen etäisyys h_r

Tämä mitta määrätään lausekkeella

$$h_r = 1,6 h_m \quad (3.3.10)$$

h_m :ää säädettäessä myös h_r muuttuu. Tämä ei kuitenkaan vaikuta mainittavasti kehittimen toimintaan jos muutos pysyy kohtuullisissa rajoissa (+ 30 mm). Liian suuri, samoin liian pieni arvo mitalla h_r alentaa saattavan kaasun lämpöarvoa.

Arina

Hakekäyttöisessä kehittämissä tulee olla liikkuva arina. Arinan liikuttelua tarvitaan käytön aikana kun arinan päällä oleva pelkistyshiilikkerros tukkeentuu tuhkan ja pienten hiilipartikkelien vaikutuksesta. Arinaa liikuttamalla saadaan hienojakoinen aines poistetuksi hiilikerroksesta jolloin kerroksen virtausvastus palautuu hyväksyttävälle tasolle. Liikutus voidaan järjestää sähkömoottorin käyttämän kampikoneiston avulla tapahtuvaksi. Sopiva laajuus arinan vaakatasossa tapahtuvalle edestakaiselle liikkeelle on 10...20 mm.

Arina valmistetaan esimerkiksi ruostumattomasta teräksestä. Kun siitä tehdään hieman maljamainen, se säilyttää paremmin muotonsa lämpörasitusten alaisena.

3.3.3.2 Kehittimen ulkovaippa

Ulkovaipan tulee olla tiivis. Ilmavuodot vaipassa voivat sytyttää kaasun palamaan kehittimen sisällä, jolloin kehittimen sisäosat vaurioituvat. Ulkovaipan alaosaan tehdään riittävän suuri ja tiivis tarkastusluukku, jonka kautta arinan alle kerääntyvä tuhka voidaan poistaa. Tiivisteeksi sopii parhaiten grafitoitu asbestinauha. Kaasun ulosotto on syytä järjestää tapahtuvaksi vastakkaisilta puolilta tulipesävaipan yläosaa. Mikäli kaasu otetaan vain yhdestä kohdasta, pelkistyshiilikerroksen lämpötilajakauma tulee toispuoliseksi ja kaasun laatu heikkenee.

Myös ensiöilman tuonti suuttimille on pyrittävä järjestämään sellaiseksi, että kaikki suuttimet saavat saman määrän ilmaa. Näin palamisvyöhyke pysyy symmetrisenä. Ensiöilmaputket voidaan muotoilla kehittimen ulkovaipan ja tulipesävaipan välillä sellaisiksi, että ne muodostavat lämmönvaihtimen, joka ottaa lämpöä ulos virtaavasta kaasusta ja siirtää sen ensiöilmaan. Ensiöilman tehokas esilämmitys tekee mahdolliseksi kosteamman polttoaineen käytön ja parantaa kaasun lämpöarvoa.

3.3.3.3 Polttoainesäiliö

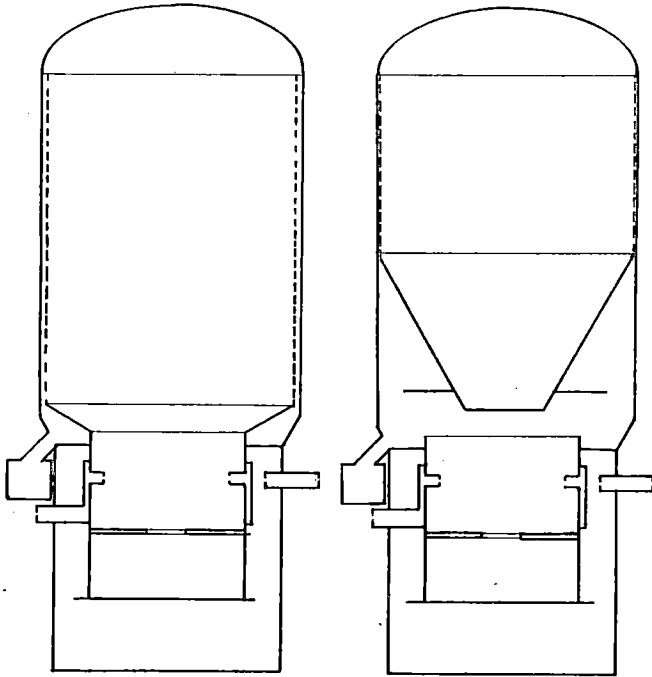
Kun polttoaineena käytetään haketta, on moottorin polttoaineen kulutus tilavuusyksikköinä varsin suuri. Mikäli säiliön mitat halutaan pitää kohtuullisina joudutaan tinkimään käyttöajasta polttoainetäydennysten välillä. Esimerkiksi traktorikäytössä 1...2 tunnin ajoaika polttoainetäydennysten välillä on sopiva. Tällöin 55 kW moottorilla varustettu traktori tarvitsee n. 0,15...0,3 m³ säiliön.

Hakekäytöisessä kehittimessä muotoillaan säiliön alaosa ohjaussuppiloksi, joka laskee hakkeen tasaisesti tulipesään ja edesauttaa polttoaineen kuivumista. Sopiva suppilon alaosan läpimitta on 200 mm ja sen on oltava noin 300 mm korkeudella suutintasosta. Suppilon seinämien kaltevuuskulma tulee olla 60^o, jotta hake valuisi tasaisesti alas.

Polttoainesäiliön kansi varustetaan joustavalla sulkumekanismilla, joka sallii kannen avautumisen ja paineen purkautumisen mahdollisten takaiskujen sattuessa. Kannen tiivisteeksi sopii hyvin esimerkiksi siliikonimassasta valmistettu tiiviste.

3.3.3.4 Kondenssiveden keräys

Polttoainesäiliön yhteyteen järjestetään puusta haihtuvan veden ja terva-aineiden keräysjärjestelmä. Pilkekäytöisessä kehittimessä asennetaan polttoainesäiliöön rei'itetty sisävaippa, joka pitää polttoaineen erossa säiliön ulkoseinämille tiivistyvistä vedestä. Hakekehittimessä polttoainesäiliön yläosaan tehdään vastaava sisävaippa. Tämän jatkeeksi tulee mainittu ohjaussuppilo (kuva 3.3.13).



Kuva 3.3.13 Pilke- ja hakekaasunkehitin

Polttoainesäiliön vaipan alaosaan muotoillaan kouru, johon tiivistynyt vesi kerätään ja josta se johdetaan kondenssisäiliöön. Kondenssisäiliö varustetaan tyhjennyshanalla. Kylmissä olosuhteissa säiliö lämpöeristetään esimerkiksi n. 20 mm mineraalivillalla jäätymisen estämiseksi. Kondenssisäiliö mitoitetetaan polttoainesäiliön tilavuuden mukaan. Esimerkiksi 300 l polttoainesäiliön yhteydessä tarvitaan noin 5 l kondenssisäiliö, jolloin sen tyhjennys voidaan suorittaa sopivasti polttoainetäydennysten yhteydessä.

3.3.4 Kaasun suodatin

Suodatin valmistetaan lasikuitukankaasta. Tarkoitukseen sopii parhaiten savukaasusuodattimiin tarkoitettu kangas. Tavalliset laminaattikankaat eivät yleensä ole sopivia. Kankaan sidoksen tulee olla sellainen, ettei se aukea, toisin sanoen kankaaseen ei muodostu harvempia kohtia, sitä eri suuntiin venytettäessä. Lasikuitusuodatinkankaan ylin käyttölämpötila on 330°C ja siitä valmistetulla suodattimella saavutetaan 99,9 % puhdistusaste. (5)

Sopiva suodatinkankaan pinta-ala voidaan määrittää lausekkeella

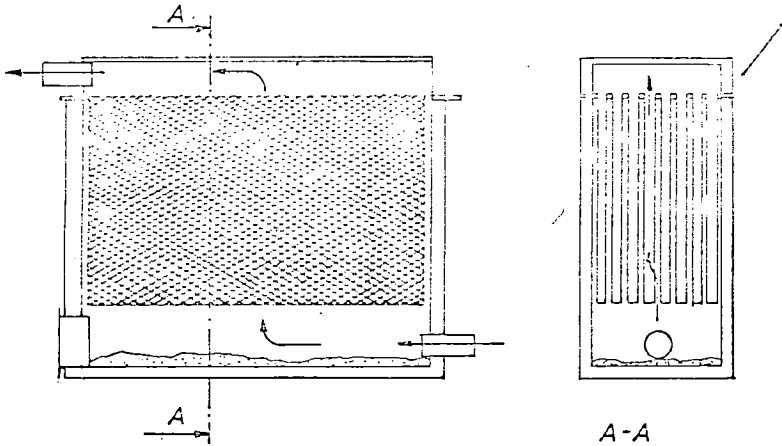
$$A_s = \dot{V}_g / B_s \quad (3.3.11)$$

$$A_s = \text{suodatinkankaan tehollinen pinta-ala } m^2$$

$$B_s = \text{suodatinkuormitus } Nm^3/m^2s$$

$$\dot{V}_g = \text{kaasun tilavuusvirta } Nm^3/s$$

Uutena kangassuodattimen virtausvastus on hyvin alhainen. Käytössä se nousee nopeasti tietyille tasolle, joka riippuu suodatinkuormituksen suuruudesta. Suodatinkankaalle kerääntyvä noki nostaa imuvastusta kerroksen paksuuntuessa. Kun nokikerros saavuttaa noin 2 mm paksuuden se alkaa irrota kankaasta värinän vaikutuksesta levymäisinä palasina. Tämä itsepuhdistus pitää suodattimen imuvastuksen lähes muuttumattomana käytön aikana. Kaikki noki ei kuitenkaan irtoa kankaista ja vastus nousee hyvin hitaasti. Kankaat on aika ajoin puhdistettava harjaamalla tai paineilmalla puhaltaen. Riittävän pienellä suodatinkuormituksella päästään 100...200 h puhdistusväliin. Sopiva arvo B_s :lle on $5...6 \times 10^{-3} Nm^3/sm^2$ jolloin suodattimen virtausvastus on luokkaa 300 mm vp. Suodatinta ei voida yleensä tilanpuutteen takia tehdä suuremmaksi. Mikäli tilaa on on syytä tehdä suurempi suodatin.



Kuva 3.3.14 Kaasun suodatin

Suodattimen kotelo lämpöeristetään, jotta kaasun lämpötila suodattimessa olisi riittävän korkea. Kaasun tulolämpötila vaihtelee ajo-olosuhteista riippuen $150...350^{\circ}\text{C}$. Minimiarvo, jonka alapuolella mahdolliset tervehöyryt tiivistyvät kankaisiin on 120°C . Eriste on tämän takia tarpeen kesälläkin. Eristeeksi riittää 30 mm mineraalivilla. Suodatinkankaat laskotetaan riittävän jäykästä verkosta valmistetun tukikehikon päälle.

Sopiva kehikon laippojen väli likaisen kaasun puolella on 15...20 mm ja puhtaan kaasun puolella 8...12 mm (kuva 3.3.14).

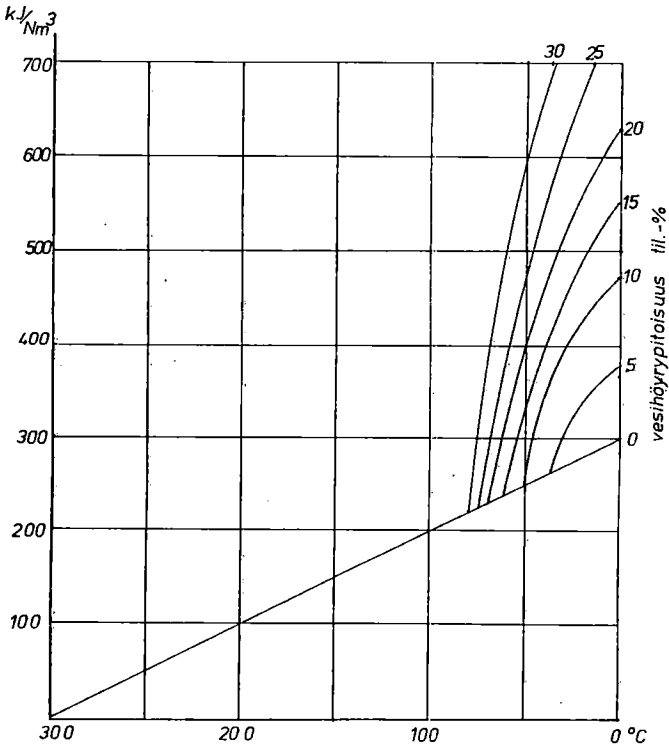
Lasikuitusuodatin ei tarvitse erillistä karkeapuhdistinta. Kaasu on johdettava suodattimeen siten, että kaasun mukana mahdollisesti kulkevat isot hehkuvat hiilipartikkelit eivät pääse kankaisiin vaan jäävät suodatinkotelon pohjalle.

3.3.5 Kaasun jäähdytin

Kaasun jäähdytys on tarpeen, jotta moottorin volumetrinen hyötysuhde saataisiin mahdollisimman hyväksi. Tämä parantaa saatavaa moottoritehoa.

Kaasun jäähtyksen voidaan katsoa tapahtuvan kahdessa vaiheessa: Ensimmäisessä vaiheessa kaasun lämpötila laskee tasolle, jossa saavutetaan kaasun kastepiste. Toisessa vaiheessa kastepisteen alapuolelle kaasua jäähtytettäessä kaasusta tiivistyy vettä ja veden höyrystymislämpö vapautuu.

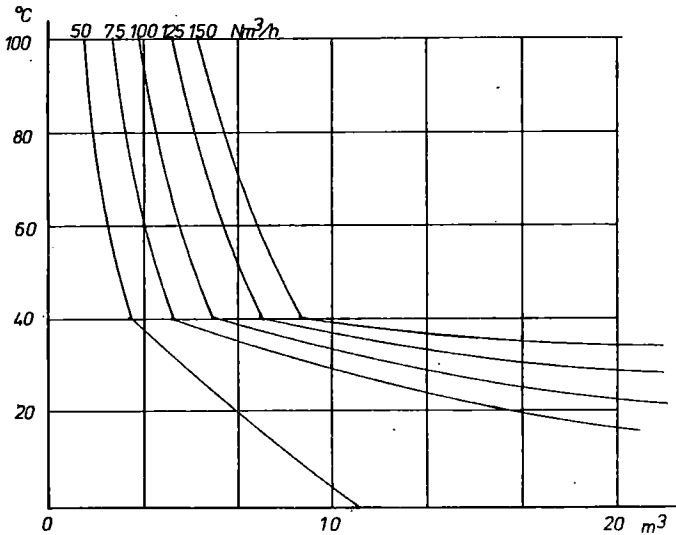
Ensimmäisessä vaiheessa on poistettava vain kaasuseoksen jäähtyttämiseksi vapautuva lämpö. Toisessa vaiheessa on poistettava lisäksi kaasun sisältämän veden höyrystymislämpö, jonka osuus poistettavasta lämpömäärästä muodostuu varsin suureksi.



Kuva 3.3.15 Kaasua jäähtytettäessä vapautuva lämpö (1)

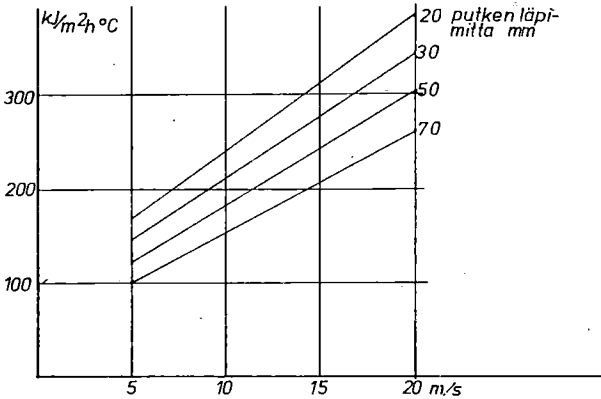
Kuvasta 3.3.15 nähdään kaasusta poistettavan lämpömäärän suuruus eri kosteuspitoisuuksilla kun kaasua jäähdtytetään lämpötilasta 300°C. Kaasun jäähdtyttämiseen tarvittavan pinnan suuruus voidaan määrätä kuvan 3.3.16 mukaan. Kuvassa on oletettu kaasun kastepisteeksi 40°C ja jäähdtytseinämän lämmönläpäisykerroin on 59 kJ/m²h°C. Kuvasta nähdään, että jäähdtytspinta-alan tarve kasvaa huomattavan nopeasti sen jälkeen kun kastepiste on alitettu. Jos halutaan pitää jäähdtyttimen mitat kohtuullisina, ei kaasua kannata jäähdtyttää alle kastepisteen. Riittävän alhainen lämpötila saavutetaan kun käytetään kuivaa polttoainetta ja polttoaineen sisältämän veden erotus kehittimessä on riittävän tehokas.

Sopiva materiaali jäähdtytinputkistoksi on esimerkiksi öljynjäähdtytmissä käytetty ripaputki. Tätä materiaalia käytettäessä voidaan jäähdtyttimen ulkopinta-ala mitoittaa kuvan 3.3.16 mukaisesti. Sisäpuolinen pinta-ala saa jäädä pienemmäksi.



3.3.16 Tarvittava jäähdtytspinta-ala erisuuruisilla kaasun tilavuusvirroilla (1)

Toinen jäädyttimen mitoituksessa huomioonotettava seikka on kaasun virtausnopeus jäädytinputkistossa. Kuvassa 3.3.17 nähdään lämmönsiirtymiskertoimen (kaasusta jäädytysputken seinämään) riippuvuus kaasun virtausnopeudesta. Lämmön siirtyminen paranee virtausnopeuden kasvaessa. Virtausnopeutta ei kuitenkaan voida nostaa äärettömästi, koska jäädyttimen painehäviöt kasvavat virtausnopeuden noustessa.



Kuva 3.3.17 Lämmönsiirtymiskertoimen riippuvuus virtausnopeudesta (8)

Sopivana virtausnopeutena jäädyttimessä voidaan pitää arvoa $15 Nm^3/m^2s$.

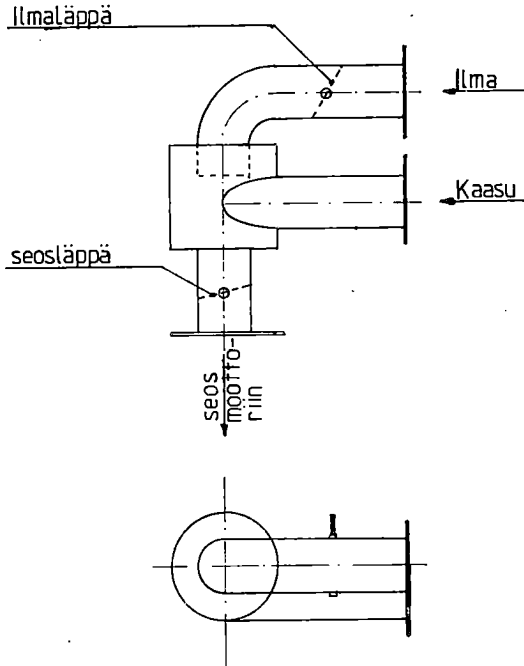
3.3.6 Kaasun sekoitin ja moottoritehon säätö

Moottoriteho säädetään ottomoottoreissa määräsäätöperiaatteella. Moottorin saaman kaasu-ilmaseoksen määrää säädetään imuputkistossa olevalla läpällä. Dieselmoottorien tehonsäätö dieselkaasukäytössä voidaan toteuttaa edelläkuvatulla määräsäätöperiaatteella. Toinen vaihtoehto on ns. laatusäätö. Laatusäädössä kaasu-ilmaseoksen seossuhdetta muutetaan tehontarpeen mukaan. Kun sytytys tapahtuu sytytyspolttonesteen avulla, laihakin kaasu-ilmaseos syttyy. Moottori saa laatusäädössä vapaasti ilmaa ja kaasua syötetään imusarjaan tarpeen mukaan.

Laatusäätöä käytettäessä moottorin nyötysuhde on osakuormilla parempi määränsäätöön verrattuna. Tämä johtuu korkeammasta puristuksen loppupaineesta. Toisaalta laatusäätöisen moottorin tyhjäkäyntipyörimisnopeutta ei saada riittävän alas ilman erikoistoimia. Tyhjäkäynnillä tarvittava seos olisi jo niin laimaa, ettei se syty sytytyspoltonesteen vaikutuksesta vaan moottori pysähtyy. Laihin syttymiskelpoinen seos saa taustailman kuormaa olevan moottorin ryntäämään.

Tyhjäkäynnin aikaansaamiseksi moottori on varustettava eräänlaisella "sekasäädöllä": suuremmilla tehoilla moottoriteho säädetään laatusäädön periaatteen mukaan, joutokäynnillä kuristetaan seoksen pääsyä imusarjaan läpällä samalla tavalla kuin määränsäädössä.

Määränsäätöperiaatteella toimiva sekoitin on yksinkertaisimmillaan kuvan 3.3.18 mukainen. Teho säädetään seosläpällä ja seossuhde ilmaläpällä. Määränsäädössä pyritään muodostamaan seos, jossa on ilmaa tarkalleen kaasun polttamiseen tarvittava määrä. Seossuhde riippuu kaasun koostumuksesta ja moottorityypistä.



3.3.18 Kaasunsekoitin

Ottomoottorille sopiva seossuhde määrytyy lausekkeella:

$$V_o = (1/0,21)(m/2 + h/2 + 2r + 3s + 6t) \quad (3.3.12)$$

$$V_o = \text{kaasun ilmantarve Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ kaasua}$$

$$m = \text{CO:n \% -osuus}$$

$$h = \text{H}_2\text{:n \% -osuus}$$

$$r = \text{CH}_4\text{:n \% -osuus}$$

$$t = \text{C}_n\text{H}_m\text{:n \% -osuus}$$

Dieselmoottorissa tarvitaan lisäksi ilmaa sytytyspolttoneesten palami-
seen. Seossuhteen määrää lauseke:

$$V_{ol} = V_o + \frac{b_c L_o i^2 (V_o + 1)}{\eta_v (V_{S_o} \eta_v - b_c L_o i \lambda)} \quad (3.3.13)$$

$$V_o = \text{kaasun ilmantarve}$$

$$b_c = \text{sytytysannoksen suuruus kg}$$

$$i = \text{sylinterien lukumäärä}$$

$$\lambda = \text{ilmakerroin}$$

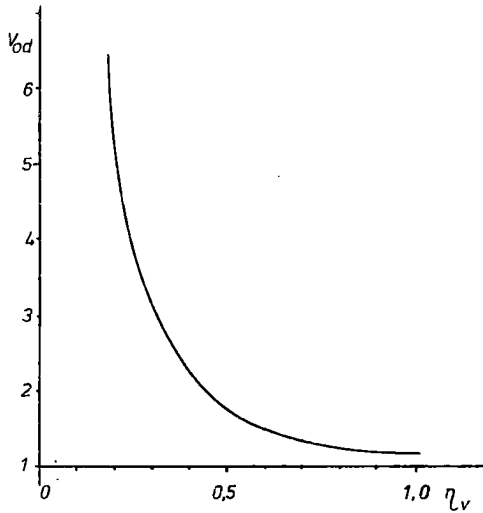
$$\eta_v = \text{volumetrinen hyötysuhde}$$

$$V = \text{iskutilavuus m}^3$$

$$L_o = \text{sytytysöljyn ilmantarve kg/kg}$$

$$S_o = \text{ilman ominaispaino kg/m}^3$$

Kuvassa 3.3.19 on esitetty 4,18 l dieselmoottorin tarvitsema ilmamäärä eri kuormituksilla. Kun moottorin tehoa säädetään pienemmäksi seosläp-
pää kuristamalla, moottorin volumetrinen hyötysuhde alenee. Kaasu-ilma-
seoksen ilmamäärää tulee tällöin lisätä. Tämä johtuu sytytyspolttonees-
teen ilmantarpeesta, joka pysyy vakiona, vaikka moottorin saama seoksen
määrä pienenee.



Kuva 3.3.19 Sylinteritilavuudeltaan 4,18 l dieselmoottorin ilmantarve dieselkaasukäytössä

Ääritapauksessa, hyvin pienellä ρ_v :n arvossa L_0 saa arvon ääretön. Tällöin kaikki ilma tarvitaan sytytyspoltonesteen palamiseen. Käytännössä sytytyspoltonesteannos on säädetty pienemmäksi kuin moottorin dieselinä tarvitsema tyhjäkäyntiannos. Tällöin osa tyhjäkäynnin ylläpitämiseen tarvittavasta tehosta tuotetaan kaasulla eikä yllämainittua tilannetta synny.

Tarkasti oikean seoksen kaikilla kuormituksilla antava säädin olisi toteutettavissa elektronisia mittalaitteita apuna käyttäen. Tyydyttävä tulos saavutetaan kuitenkin jo yksinkertaisella käsiasäädöllä. Dieselmoottori ei ole ehdottoman tarkka seossäädön suhteen huipputehoa lukuunottamatta.

Laatusäätöisessä järjestelmässä sekoitin on rakenteeltaan samanlainen kuin kuvassa 3.3.18 esitetty. Tehon säätö hoidetaan tässä tapauksessa ylempillä tehoalueilla ilmaläpällä seossuhdetta säätäen. Huipputehoa tarvittaessa annetaan moottorille seos, jossa kaasua ja ilmaa on lausekkeen 3.3.12 tai 3.3.13 määräämässä suhteessa. Moottorin teho säädetään

alemmaksi lisäämällä ilman määrää seoksessa. Pienimmillä tehoilla ja tyhjäkäynnillä, jolloin seoksen ilmapitoisuuden alentaminen johtaisi niin laihaan seokseen, ettei se enää syty, tehonsäätö hoidetaan kuristamalla seoksen virtausta seosläpällä.

Kaasun laadussa ja laitteiston virtausvastuksessa tapahtuvien muutosten takia täyden tehon säätöasento vaihtelee ajon aikana. Hienosäätöä varten tarvitaan järjestelmässä erillinen seossäätövipu.

Sekoittimen muotoilussa tulee pyrkiä pieniin virtausvastuksiin ja hyvään kaasun ja ilman sekoittumiseen. Ottomootorin sekoittimen yhteyteen voidaan liittää kaasutin nestemäisellä polttoaineella ajoa varten.

3.3.7 Kehittimen käynnistysjärjestelmä

Kehittimen käynnistämistä varten tarvitaan laitteisto, jolla järjestetään kehittimeen riittävä veto sytyttämisen jälkeen ajaksi, jolloin kehittimestä tuleva kaasu ei ole vielä kelvollista käytettäväksi moottorissa.

Veto saadaan aikaan helpoimmin sähkötuulettimella, jolla joko imetään kaasua kehittimestä tai puhalletaan ilmaa kehittimen ensiöilmapuolelle. Imutuulettimella varustettu kehitin on helpompi sytyttää. Tuulettimen tulee imujärjestelmässä kestää korkeata lämpötilaa (250°C). Sopivin on keskipakotyypinen puhallin, jonka sähköteho on vähintään 150 W. Suurempitehoisella puhaltimella kehitin käynnistyy nopeammin.

Jos nestemäistä polttoainetta on käytettävissä voidaan tuulettimen sijasta käyttää pakokaasuejektoria, joka imee kaasua kehittimestä. Kehitin käynnistetään moottorin käydessä nestemäisellä polttoaineella.

Dieselmootorin pakokaasut voidaan ohjata kehittimen ilmanottoaukkoon kehittimen käynnistyksen ajaksi. Näin saadaan aikaan tarvittava veto. Dieselpakokaasut sisältävät runsaasti happea moottorin käydessä tyhjäkäyntiä. Kun kaasun lämpötila on noussut yli 50°C ja se on hyvin palavaa, se ohjataan moottoriin. Jos lämpötila on alle 50°C, kaasun sisältämä vesi tiivistyy suodatinkankaisiin ja tukkii ne.

Imutuulettimella varustettu kaasun kehitin voidaan sytyttää esimerkiksi palavalla trasselitukolla, jonka liekit imetään sisään ensiöilma-aukosta. Sytytykseen voidaan käyttää myös thermostart-laitetta, jonka lieska ime-tään tulipesään erityisen sytytyssuuttimen kautta.

Painetuuletusjärjestelmällä varustettu kehitin sytytetään sytytystikul-la, joka ohjataan erityisen sytytysputken avulla tulipesään suutinten tuntumaan. Sytytyspanos on ison tulitikun kaltainen, magnesium-alumiini-seoksella päällystetty puikko. Sitä käytettiin 40-luvulla vastaavaan tarkoitukseen puukaasutulitikun nimisenä. Ottomoottorin yhteydessä pai-netuuletin on edullinen. Sen avulla voidaan täyttää kaasuputkisto kun kaasu on käyttökelpoista. Kaasu voidaan imeä moottoriin myös käynnistys-moottorin avulla. Pitkän putkiston täyttämiseen kuluu kuitenkin aikaa, ja akun rasitus voi tulla kylmissä olosuhteissa liian suureksi.

3.3.8 Kaasuputkisto

Kaasuputkisto on tehtävä riittävän suuriläpimittaisesta putkesta, ettei painehäviö putkessa nouse liian suureksi. Samasta syystä on turhia mutkia vältettävä. Ohjearvon putken minimiläpimitäksi saa lausekkeesta

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \dot{V}_g}{\pi v}} \quad (3.3.14)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_g &= \text{moottorin kaasun kulutus} \\ v &= \text{kaasun virtausnopeus} = 5,5 \text{ m/s (max.)} \end{aligned}$$

Putken liitoksina on syytä käyttää laippoja. Jos kehittimen ja suodat-timen välinen putki on pitkä, se on eristettävä esimerkiksi asbesti-nauhalla tai mineraalivillalla ettei kaasu jäähdy liiaksi ennen suoda-tinta.

Moottori voidaan suojata suodatinkankaan mahdollisesta puhki palamisesta johtuvalta likaantumiselta suojasuodattimella. Se on tiheästä metal-liverkosta tehty suodatin, joka on asennettu putkistoon varsinaisen suodattimen jälkeen. Suojasuodatin tukkeutuu nopeasti mikäli nokea pää-see varsinaisen suodattimen lävitse. Suodattimen tukkeutuminen estää likaisen kaasun pääsyn moottoriin.

4. Puukaasukokeet

Kirjallisuustarkastelun täydennykseksi VAKOLAssa suunniteltiin ja rakennettiin hakekäyttöinen puukaasutinlaitteisto edelläesitettyjä suunnitteluperiaatteita noudattaen. Aluksi käytettiin kaasun kehittimenä hyvin toimivaksi tunnettua AKMO 520 KIV -kehittintä, joka käyttää polttoaineena pilkettä. Suodattimen, jäähdyttimen ja sekoittimen toiminta voitiin näin tarkistaa. Laitteisiin tehtiin kokeiden perusteella myöhemmin esitetyt muutokset. Lisäksi kokeiltiin polttonestelaitteiden ja moottorin toiminta. Kun laitteisto muilta osin oli saatu toimimaan tyydyttävästi, asennettiin AKMO-kehittimen tilalle VAKOLAn hakekäyttöinen kaasunkehitin, ja keskityttiin sen kokeeseen ja kehitysohjelmaan. Kokeiden tarkoituksena oli laitteiston kehittämisen ohella kirjallisuudesta saadun tiedon tarkistus ja käytännön kokemuksen hankkiminen.

4.1 Traktori

Koelaitteisto asennettiin Valmet 702 -traktoriin. Traktori on varustettu Valmet 411 B -suoraruiskutusdieselmoottorilla. Sen tärkeimmät tekniset tiedot ovat seuraavat:

- tyyppi	4-tahtinen dieselmoottori
- sylinteriluku	4
- sylinterin läpimitta	108 mm
- iskunpituus	144 mm
- iskutilavuus	4,18 l
- maksimipyörimisnopeus	46,7 r/s (2800 r/min)
- huipputeho (jatkuva) DIN A	52 kW/38 r/s (2300 r/min)
- suurin vääntömomentti DIN	273 Nm/23 r/s (1400 r/min)
- puristussuhde	17
- polttonesteen ruiskutus	suora
- jäähdytys	vesijäähdytetty

4.1.1 Moottoriin tehdyt muutokset

Kokeiden alussa moottoriin ei tehty muutoksia. Myöhemmin moottorin kantavuustestien vaurion korjaamisen yhteydessä moottoriin vaihdettiin

männät, jotka alensivat puristussuhteen arvoon 16:1. Muutos tehtiin jotta voitaisiin selvittää puristussuhteen vaikutus kaasukäyttöisen moottorin ominaisuuksiin. Epäiltiin, että puristussuhde 17:1 olisi liian korkea puukaasulle.

4.1.2 Polttonestelaitteet

Ruiskutuspumppu tarkastettiin ja säädettiin Valmet Oy:n Linnavuoren tehtailla. Dieselkaasukäyttöön sopivan ruiskutusannoksen säätöä varten pumppu varustettiin rajoittimella, joka estää säätötangon liikkeen kohti suurempia polttonesteannoksia.

Rajoitin näkyy kuvassa 3.2.1, pumpun oikeassa päädyssä. Rajoittimessa olevalla säätöruuvilla voitiin säätää haluttu maksimiannos. Rajoitinlaite täytti tehtävänsä hyvin, mutta sen käyttö osoittautui hankalaksi. Puukaasulaitteisto on asennettu siten, että ruiskutuspumppu jää osittain peittoon. Kun kehitinlaitteisto on kuuma, ei rajoitinta voinut vaihtaa asennosta toiseen ilman suojarusteita.

Pumppuun asennettiin samassa kuvassa 3.2.1 näkyvä säätöruuvi, joka rajoittaa pysäytysvivun liikkeen 0-syöttöä kohti. Kun vipu painetaan säätöruuvin määräämään asentoon, voidaan ruiskutusannos säätää halutun suuruiseksi säätöruuvin avulla.

Jälkimmäisen ruiskutusannoksen rajoitustavan etuna on se, että vivun asento voidaan säätää ohjaamosta, säätövaijerin avulla. Vaihto dieselkäytöstä dieselkaasukäyttöön voidaan näin suorittaa ohjaamosta poistumatta.

Dieselkaasukäytössä ruiskutuspumppun nopeudensäätövipu vedetään täysin "auki". Näin ei pumpun keskipakosäädin pääse pienentämään ruiskutusannosta kun moottorin pyörimisnopeus kaasun vaikutuksesta kiihtyy.

Myöhemmin todettiin traktorin ruiskutuspumppu kuluneeksi. Dieselpolttonestettä vuoti runsaasti elementtien ohi pumpun öljytilaan. Tilalle vaihdettiin uusi, samanlainen ruiskutuspumppu. Ruiskutusannos säädettiin arvoon $8 \text{ mm}^3/25 \text{ r/s}$ (1500 r/min).

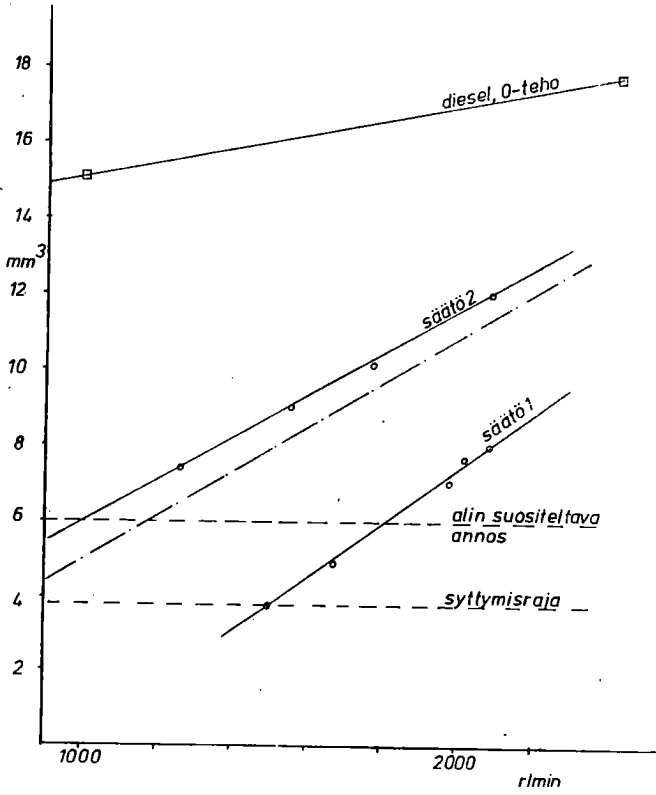
Ruiskutuspumun säätötanko pysyy liikkumattomana riippumatta pyörimisnopeuksien muutoksista. Ruiskutusannos muuttuu tästä huolimatta pyörimisnopeuden funktiona pumpun rakenteellisista ominaisuuksista johtuen. Kuvassa 4.1.1 on esitetty mitattu keskimääräinen ruiskutusannos pyörimisnopeuden funktiona kahdella eri säätöruuvin asennolla. Säätö 1:ssä polttonesteannos laskee alle syttymisrajan, jolloin moottori ei enää käy. Säätö 2 on puolestaan hieman liian runsas. Sopiva säätö on merkitty kuvaan pistekatkoviivalla. Samassa kuvassa on esitetty vertailun vuoksi myös moottorin 0-teholla mitattu ruiskutusannos. Syttymisrajan lisäksi kuvaan on merkitty alin suositeltava ruiskutusannos. Tämän alapuolella suutinten jääähdytys huipputeholla jää heikoksi ja on olemassa suuttimien vaurioitumisvaara.

Koska tavoitteena on ollut mahdollisimman pienin muutoksin soveltaa dieselmoottori käymään puukaasulla, ei ruiskutuspumun sisäiseen rakenteeseen ole kajottu, vaan on tyydytty polttonesteannoksen muuttamisesta johtuvaan suurempaan polttonesteen kulutukseen. Dieselkaasukäyttöisenä moottori kuluttaa dieselpolttonestettä n. 2,5 l/h. Lisäksi muutettiin polttonesteen ruiskutusennakkoa.

4.2 Puukaasutinlaitteisto

Tässä esityksessä keskitytään pääasiassa kehitetyn uuden kaasunkehittimen ja muun laitteiston esittelyyn. Kokeiden alussa käytössä ollut AKMO-kehitin jää vähemmälle huomiolle. Eräitä vertailuita uuden ja vanhan kehittimen välillä on kuitenkin esitetty.

Kuvissa 4.2.1 ja 4.2.2 nähdään puukaasutinlaitteisto asennettuna traktoriin. Koelaitteiston mitoituksen lähtökohdana on pidetty kuvan 3.3.7 mukaan arvioitua moottorin kaasun kulutusta $64 \text{ Nm}^3/\text{h} = 18 \text{ l/s}$. Laitteisto on pyritty suunnittelemaan helposti valmistettavaksi. Rakennemateriaaleina käytettiin halpoja materiaaleja niiden kestävyuden selvittämiseksi. Laitteisto on tietyiltä osiltaan varsin karkeatekoinen ja turhan isokokoinen. Tämä johtuu siitä, että kyseessä on koelaitteisto, johon on jätetty tilaa mahdollisten muutostöiden varalle. Seuraavassa esitetään eri komponenttien mitoituslaskelmat, rakenne ja kokeissa esiintulleet käyttöominaisuudet sekä koetulosten perusteella tehdyt muutokset ja niiden vaikutukset kunkin komponentin toimintaan.



Kuva 4.1.1 Sytytyspolttonesteannos dieselkaasukäytössä



Kuvat 4.2.1 ja 4.2.2 Vakolan puukaasutraktori

4.2.1 Kaasun kehitin

4.2.1.1 Rakenne

Kaasun kehittimen kokoonpanopiirustus on esitetty kuvissa 4.2.3 ja 4.2.4. Kehitin on varustettu vaihdettavilla tulipesärenkailla ja suuttimilla. Polttoainesuppilon alle jäävä ulkovaippa toimii veden tiivistyspintana, josta polttoaineesta haihtunut vesi johdetaan kondenssiuran kautta sitä varten varattuun lämpöeristettyyn säiliöön.

Arina on valmistettu reikälevystä ja sitä liikuttaa alipainekeytkimen ohjaama sähkömoottori kampikoneiston välityksellä (kuva 3.1.1).

Ilman sisäänntuloaukossa on takaiskuläppä, joka estää tulen pääsyn ulos kehittäimestä mahdollisten paineenousujen aikana. Kehittimen kansi on suljettu jousella, joka sallii kannen avautumisen ja paineen purkauksen tätä kautta.

4.2.1.2 Kehittimen mitoitus

Moottorin kaasun kulutus on edellä esitetyn mukaan $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$
Suurin sallittu tulipesäkuormitus on $B_h = 3,5 \text{ m/s}$
Sijoittamalla arvot lausekkeeseen (3.3.7) saadaan tulipesärenkaalle läpimitta:

$$d_h = 80 \text{ mm}$$

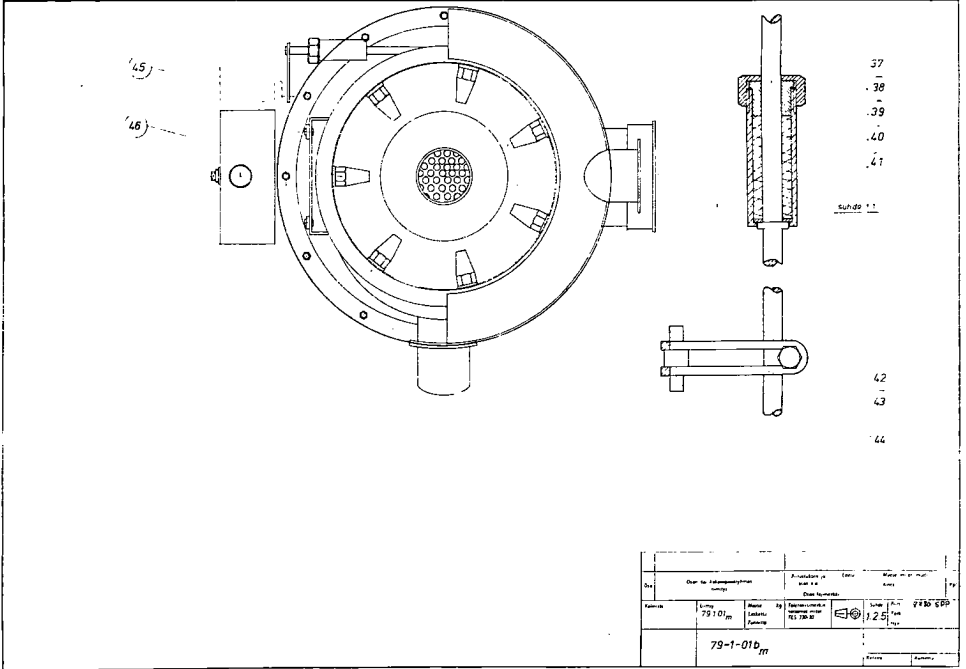
Suutinrenkaan läpimitta määrätään kuvan 3.3.10 mukaan. Saadaan:

$$d_r = 250 \text{ mm}$$

$$d_r' = 200 \text{ mm}$$

Koska kehittäjä oli tarkoitus kokeilla myös suuremmilla tulipesärenkaan mitoilla valittiin $d_r = 350 \text{ mm}$ $d_r' = 200 \text{ mm}$.

Kokeissa mitta $d_r = 350 \text{ mm}$ osoittautui liian suureksi, kaasuun tuli tervaa. Mitta muutettiin pienemmäksi. Nyt se on 250 mm.



Objekt	Objekt nr. ja loomingu kuupäev	Projektsuhted	Arhitekt	Arhitekti nr. ja kuupäev	Arhitekti nimi
Kaardid	Lõike 79-1-01m	Reaal Lõike Lõike	Arhitektuuriosakond Ehitusministeerium	Lõike 79-1-01 12.5.1944	748b EPP
79-1-01b _m					

Suutinreiän läpimitta määrätään kuvan 3.3.11 perusteella. Saadaan

$$d_m = 8 \text{ mm.}$$

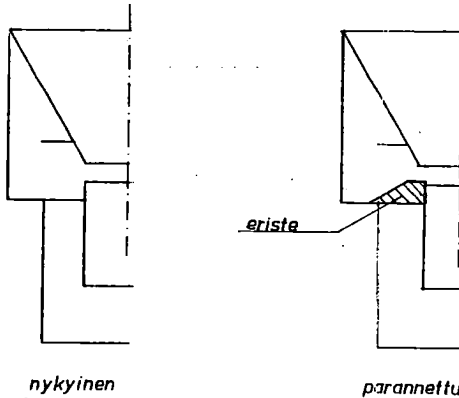
Mitta h_m määrätään kuvan 3.3.12 mukaan. Saadaan $h_m = 100 \text{ mm.}$

Mitta h_r määräytyy lausekkeella $h_r = 1,6 h_m$. H_m on siis 160 mm.

Polttoainesäiliön koko mitoitetaan n. 2 h käyttöaikaa silmälläpitäen.

Traktorin puunkulutus arvioidaan olevan luokkaa $0,15 \text{ m}^3/\text{h}$, jolloin säiliön tilavuuden on oltava n. 300 l.

Käyttökokeissa todettiin kondenssiuran lämpötilan olevan niin korkea, että siinä oleva vesi höyrystyy uudelleen. Ura olisi syytä muotoilla siten, että se ei ole kosketuksessa tulipesävaipan yläosaan eikä pohjan alapuolella olevaan kuumaan kaasuun. (kuva 4.2.5)



Kuva 4.2.5 Kehittimen kondenssiuran muotoilu ja ehdotus paremmaksi muodoksi

4.2.1.3 Rakennemateriaalit

Kehittimen vaipat on valmistettu hitsaamalla Fe 37 -teräksestä. Suuttimet on tehty akseliteräksestä (16 MnCr 5). Tulipesärenkaat, kannatinlevy ja arina on valmistettu 20 % kromilla seostetusta teräksestä tullenkestävyyden varmistamiseksi.

Käytön aikana ei korroosio- tai lämpövaurioita ole tullut ilmi. Kokeiden aikana kertyneiden ajotuntien määrä on kuitenkin niin pieni (150 h) ettei esimerkiksi polttoainesäiliön korroosionkestävyydestä saa selvää kuvaa. Tervainen kondenssivesi aiheutti jonkin verran ruostumista säiliön yläosiin. Korroosionopeus saattaa kuitenkin ajan mittaan kiihtyä. Jos laitteesta halutaan pitkäikäinen on polttoainesäiliö valmistettava ruostumattomasta materiaalista tai suojattava sisäpuolelta sopivalla pinnoitteella, esimerkiksi emalilla. Kromiseosteiset tulipesän osat ovat säilyneet käytännöllisesti katsoen muuttumattomina.

4.2.1.4 Polttoaine

Polttoaineena kehittämissä käytettiin 14 % kosteuteen kuivattua haketta, jonka raekoko oli 5-40 mm.

Käytössä kokeiltiin myös kosteampaa haketta (25 %). Kostealla hakkeella saatu moottoriteho oli n. 10 % alhaisempi.

Lisäksi kokeiltiin karkeampijakoista, ns. palahaketta. Palahakkeen raekoko on 50...100 mm. Palahakkeella saatava teho oli 5 % alempi kuin hienojakoisemmalla polttoaineella mitattu teho. Karkeajakoinen hake antoi toisaalta kosteana (20 %) saman moottoritehon kuin 10 % kosteutta sisältävänä. Tämä johtuu karkean hakkeen tehokkaammasta kuivumisesta kehittämissä.

Polttoaineena kokeiltiin myös turvebrikettejä. Turpeesta saatavan kaasun lämpöarvo on huomattavasti alempi puukaasuun verrattuna, heikentyneestä moottoritehosta päätellen.

Lisäksi turpeen sisältämä runsas tuhka tukki pelkistyshiilikerroksen, eikä myöskään uutta hiiltä muodostunut pelkistyksessä kuluneen tilalle. Kaasun kehitys loppui noin tunnin ajan jälkeen.

4.2.1.5 Käynnistys

Kehitin käynnistettiin tuulettimella imemällä. Tuulettimen teho oli n. 150 W. Tuli sytytettiin pitämällä palavaa trasselitukkoa ensiö- ilma-aukon suulla. Sytytystä kokeiltiin myös thermostart-laitteella, joka on asennettu ensiöilma-aukkoon. Laitteen kehittämän lieskan pirtuus ei kuitenkaan riitä tule sytyttämiseen. Mikäli tuli johdettai- siin suoraa putkea myöten tulipesään, sytytys olisi yllämainittua laitetta käyttäen mahdollinen.

Thermostart sytytystä käytettiin menestyksellä AKMO-kehittimen yhtey- dessä. AKMOssa ensimmäinen ilmasuutin on välittömästi ensiöilma-aukon takana. Thermostartin liekki imeytyi sen kautta tulipesään ja sytytti siellä olevan hiilen nopeasti ja "käsien koskematta". On suositeltavaa, että ilmakanava muotoillaan mahdollisimman lyhyeksi, kehittimen help- poa sytytystä silmällä pitäen.

Vakolassa suunnitellut kehittimen ilmakanava on pitkä. Kanavan muo- dolla pyrittiin tasaiseen ilman jakaantumiseen eri suuttimille. Tämä toi mukanaan haittana hankalamman sytytyksen. Imutuulettimen lisäksi kokeiltiin käynnistystä puhaltamalla dieselmoottorin tyhjäkäynnillä syntyvät poistokaasut kehittimen ilmanottoaukkoon. Koska sytytyspa- noksia ei ollut käytettävissä kehitin sytytettiin tuulettimella ime- mällä. Varsinainen käynnistys tapahtui pakokaasuilla. Tämä järjes- tely osoittautui hyvin toimivaksi. Kehittimeen saatiin näin huomata- tavasti voimakkaampi veto kuin pienellä sähkötuulettimella ja kaasu tuli käyttökelpoiseksi lyhyemmässä ajassa. Jos kehittimen sytytys saadaan suoritetuksi esimerkiksi mainituilla puukaasutulitikuilla, ei laitteistossa tarvita tuuletinta lainkaan vaan käynnistys voi tapahtua puhaltamalla dieselmoottorin pakokaasuja ensiöilma-aukosta kehittimeen.

4.2.1.6 Käyttökokemuksia

Kaasun kehittimen polttoainesäiliön tulee olla ehdottoman tiivis. Pienestäkin aukosta pääsee säiliöön ajon aikana vuotamaan ilmaa. Kun ilmaa on kerääntynyt säiliöön riittävästi, syttyy syntynyt kaasu-il- maseos aiheuttaen paineennousun kehittimessä. Syntynyt paine purkautuu

täyttöaukon luukun kautta. Tapahtuma ei ole vaarallinen, mutta se säilyttää kokoneenkin, asiaa tuntemattomista puhumattakaan. Säiliö voidaan tiivistää helposti silikonitiivistysmassalla, joka kestää kuumuutta aina 180°C lämpötilaan asti.

Käytännön työssä ei kostean polttoaineen käytöstä ollut sanottavaa haittaa. Käynnistys seuraavana aamuna vaikeutui jonkin verran kun kehittimen jäähtyessä polttoainesäiliöön kondensoitunut ja sieltä tulipesään valunut vesi oli kostuttanut tulipesässä olevan polttoaineen.

Kehittimen tulipesää on kohennettava ennen sytytystä. Kohennus tulee tapahtua varoen, muuten kehittimen tulipesän läpi pelkistyshilien sekaan kulkeutuu palamatonta haketta, josta kuumennettaessa erkautuu tervaa. Samoin jos arinaa liikutellaan liian usein, pelkistyshiliet kuluvat nopeasti ja palamatonta puuta pääsee hielten sekaan.

Jos kehittäimestä alkaa käynnistuksen yhteydessä tulla tervaa, on kaasua imettävä tuulettimella niin kauan, että tulipesän lämpötila nousee normaaliin käyntilämpötilaan, jolloin tervan muodostuminen lakkaa. Tervan tulo on oikein mitoitettussa kehittäimessä merkki siitä, että pelkistyshilien joukkoon on päässyt palamatonta puuta. Tervapisarat palavat kaasun joukossa selvästi erottuvina tuikkeina, kun kaasu poltetaan puhaltimen poistoputken suulla.

4.2.2 Kaasusuodatin

4.2.2.1 Suodattimen rakenne

Kokeiltu suodatin on valmistettu suodatinkäyttöön tarkoitettusta lasikuitukankaasta. Kangas on belgialaisen Clarc-Schwebel International S.A.:n valmistetta, tyyppi 801/CS-323.

Materiaalin ylimmäksi sallituksi käyttölämpötilaksi ilmoitetaan 320°C. Sen kemiallinen kestävyys on valmistajan mukaan hyvä. Suodatinkangas on asennettu verkkolevystä valmistetun kehikon varaan.

Suodatinkotelon alaosa on muotoiltu syklonipuhdistimeksi, joka erottaa kaasusta karkeimmat epäpuhtaudet. Suodatinkotelon seinämät on lämpöeristetty 20 mm mineraalivillaeristeellä, kaasun jäähtymisen estämiseksi. Kehittimestä suodattimeen tuleva putki on eristetty asbestinauhalla samasta syystä. Suodattimen kokoonpanopiirustus on esitetty kuvassa 4.2.6.

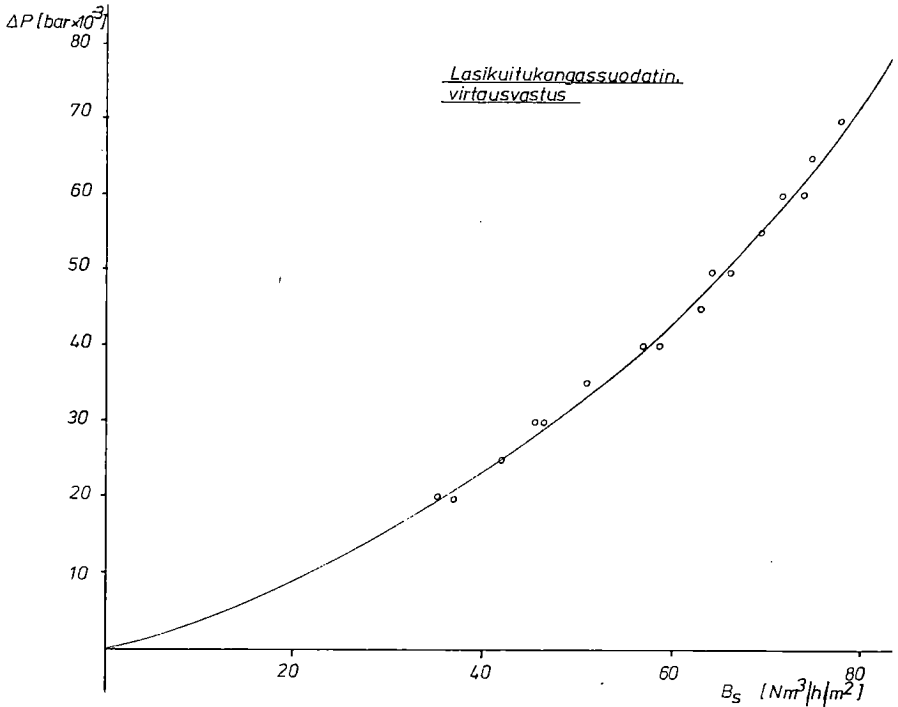
4.2.2.2 Suodattimen virtausvastusmittaukset

Suodattimeen asennettiin aluksi suodatinkangas, jonka pinta-ala oli $1,5 \text{ m}^2$. Virtausvastus mitattiin imemällä moottoriin ilma suodattimen läpi moottorin pyörimisnopeudella 25 r/s. Puhtaana tämän suodattimen virtausvastus oli hyvin pieni, noin 200 Pa. Käytössä virtausvastus nousi hyvin nopeasti 10 tunnin ajon jälkeen se oli n. 5000 Pa. Tästä eteenpäin vastuksen nousu oli huomattavasti hitaampaa. 20 tunnin käytön jälkeen vastus oli 5500 Pa.

Näin suuri imuvastus suodattimessa aiheuttaa kohtuuttoman suuren moottoritehon alennuksen kaasulla ajettaessa.

Sopivan suodatinpinta-alan löytämiseksi mitattiin 10 h puhdistuksen jälkeen käytetyn suodattimen virtausvastuksen riippuvuus suodatinkuormituksesta. Virtausvastus mitattiin suodatinta ennen ja sen jälkeen putkistoon asennetuilla painemittareilla. Suodattimen läpi imettiin osa moottorin tarvitsemasta ilmasta. Virtausvastus mitattiin putkistoon asennetulla neljännesympyrälaipalla, paine-, paine-ero- ja lämpömittarilla.

Mittausten tuloksena saatiin kuvan 4.2.7 mukainen käyrä. Tämän avulla määriteltiin tarvittavaksi suodattimen pinta-alaksi 4 m^2 . Tällöin suodatinkuormitus on täydellä teholla ajettaessa luokkaa $16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Tällä kuormituksella suodattimen virtausvastus on kuvan 4.2.7 mukaan n. 800 Pa.



Kuva 4.2.7 Lasikuitukangassuodattimen virtausvastus suodatin-kuormituksen funktiona

Uudella suodattimella on ilman puhdistusta ajettu n. 100 h. Suodattimen virtausvastus mitattuna samalla tavalla kuin edellä nousi ensimmäisen 10 h aikana arvoon 900 Pa. 100 h käytön jälkeen virtausvastus on 1100 Pa. Vastus pysyy vakiona. Suodattimeen kertynyt noki irtoaa kankaista levymäisinä palasina tärinän vaikutuksesta kun nokikerros on kasvanut 2...3 mm paksuksi.

Suodattimeen menevän kaasun lämpötila on tyhjäkäynnillä n. 120°C. Kovassa kuormituksessa kaasun lämpötila nousee arvoon 400°C. Tämä esimerkiksi tehomittausajossa. Kankaissa ei ole nähtävissä vaurioitumisen merkkejä korkeista lämpötiloista huolimatta. Kaasu on suodattimen jälkeen puhdasta. Ainoastaan höyrynä suodattimen läpi kulkevat fenolit ja tervat kulkeutuvat jäähdyttimeen asti.

Kokeiden perusteella voidaan todeta lasikuitukankaan soveltuvan hyvin puukaasun suodattimeksi. Aiemmin tässä selostuksessa annettu suodattimen mitoitusohje on saatujen koetulosten perusteella muokattu sellaiseksi, että sitä noudattaen saadaan aikaan hyvin toimiva suodatin. Kokeissa käytetty suodatinkotelo oli lieriön muotoinen. Kuvassa 4.2.8 on esitetty myös suorakaiteen muotoinen suodatinkotelo. Tämä muoto on edellistä suositeltavampi, koska se on helpommin mitoitettavissa traktoriin.

4.2.3 Kaasun jäädytin

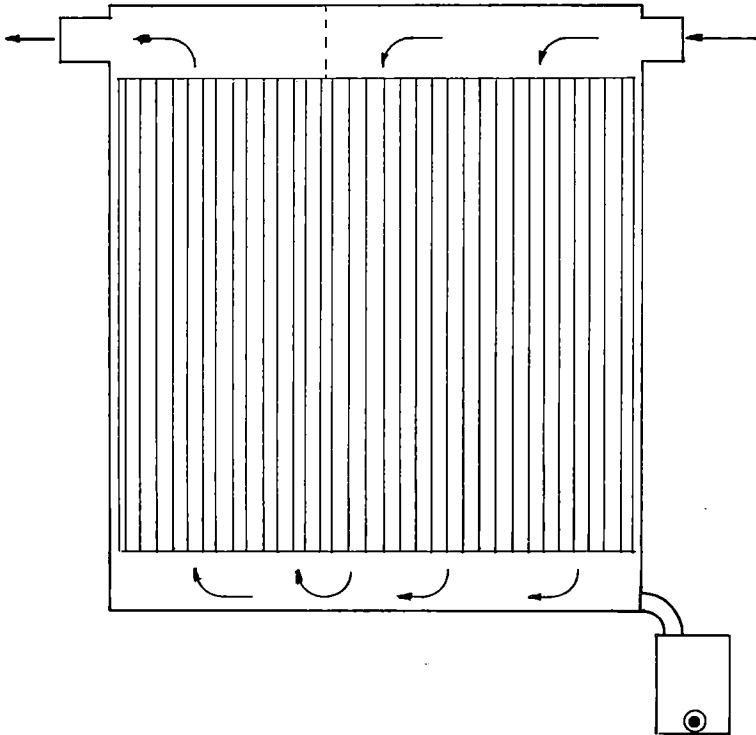
4.2.3.1 Jäädyttimen rakenne

Kokeissa käytetty jäädytin tilattiin valmiina Oksanen ja Kumpp. Oy:ltä. Jäädytin on valmistettu öljynjäädyttimissä käytettävästä ripaputkesta. Putken sisäosa on kuparia, sisähalkaisija on 8 mm. Putken ulkopinnalla on alumiinirivointus, joka tehostaa jäähdystä. Jäädyttimessä kaasu virtaa kuvan 4.2.9 mukaisesti. Putket ovat kolmessa rivissä, alaspäin johtaa 32 putkea ja ylös 24 putkea. Putkien pituus on valittu sellaiseksi, että jäädyttimen virtausaukko on saman suuruinen kuin moottorin veden jäädyttimessä, jonka eteen laite on asennettu. Jäädyttimen yläsäiliön kansi on avattavissa puhdistusta varten. Alasäiliöstä lähtee putki kondenssisäiliöön, johon kaasua jäädytettäessä tiivistyvä vesi kerätään. Jäädyttimen ulkopinnan ala on n. 5 m². Maksimivirtausnopeus jäädytinputkissa on 20 m/s.

4.2.3.2 Jäädytinkokeet

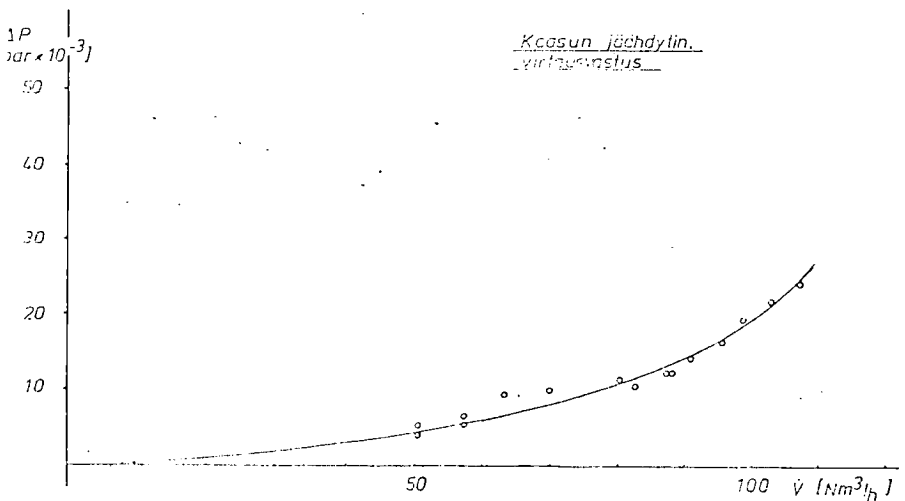
Jäädyttimen toimintaa on seurattu muiden kokeiden yhteydessä lämpötila- ja painemittauksin.

Jäädytin alentaa kaasun lämpötilan arvosta 300°C arvoon 35°C moottoria paikoillaan käytettäessä, täydellä kuormalla, kun ulkoilman lämpötila on 14°C. Samalla kertyy kondenssisäiliöön vettä lähes puun kosteuspitoisuutta vastaava määrä. Tämä on merkinä siitä, että kaasu jäähtyy huomattavasti kastepisteensä alapuolelle. Jäädyttimen teho tällaisena riittää optimaaliseen jäädytykseen myös kuumina kesäpäivinä.



Kuva 4.2.9 Kaasun jäähdytín

Kylmissä ajo-olosuhteissa jäähdytin on peitettävä. Muussa tapauksessa tiivistyvä vesi jäätyy jäähdyttimen putkien seinämille ja tukkii vähitellen koko putkiston. Jäähdyttimen aiheuttama virtausvastus on täydellä kuormalla 1500 Pa, mikä on kohtuullinen arvo (kuva 4.2.10). Laitteen virtausvastusta voitaisiin alentaa tekemällä kaasun virtaus sellaiseksi, että virtaus tapahtuisi kaikissa putkissa alaspäin ja kaasu otettaisiin ulos alasäiliöstä. Tällä tavalla jäähdyttimen teho laskisi hieman. Aiemmin todettiin jäähdyttimen olevan nyt turhan tehokkaan, joten varaa tähän olisi.



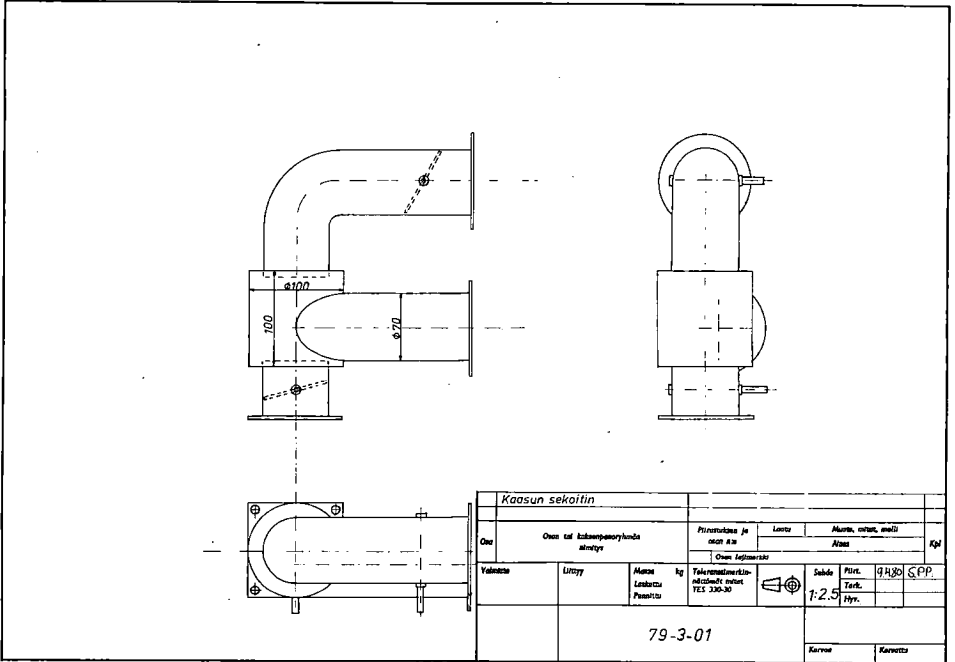
Kuva 4.2.10 Kaasun jäähdyttimen virtausvastus.

4.2.4 Kaasun sekoitin ja moottoritehon säätö

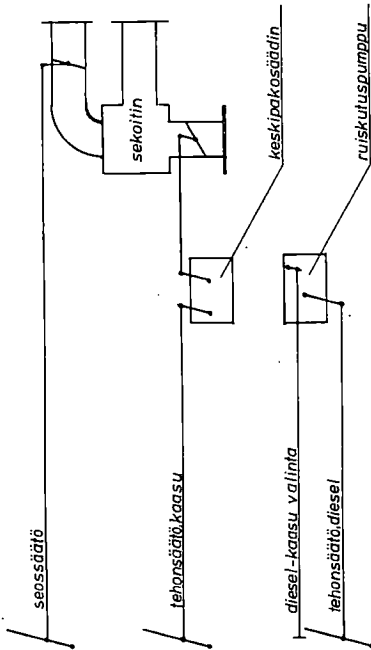
Sekoitin on kuvan 4.2.11 mukainen. Ilma-kaasuseossuhdetta säädetään ilmaputkessa olevalla läpällä. Moottorin saaman seoksen määrää säädetään imusarjaan johtavassa putkessa olevalla seosläpällä.

Moottorin säätövivusto on esitetty kuvassa 4.2.12. Seosläppää ohjaa erillinen keskipakosäädin. Laite on tarpeen traktorissa, jotta käyntinopeus voitaisiin pitää vakiona kuormituksen vaihteluista huolimatta. Säätöjärjestelmä toimii hyvin. Moottori on helposti hallittavissa. Ainoa ero ajettaessa kaasulla verrattuna dieselajoon on seosvipu, joka on säädettävä kohdalleen ennen ajoon lähtöä. Ajon aikanakin säätö on tarpeen mikäli tarvitaan moottorin huipputehoa.

Moottori käy huomattavan laihallakin seoksella, joten osakuormilla säätö saa olla laihan seoksen puolella. Rikasta seosta moottori ei polta kokonaan, vaan seurauksena on epätasainen käynti ja voimakas pauke pakoputkessa. Täyttä tehoa tarvittaessa seos on säädettävä tarkalleen oikein. Moottorin tyhjäkäyntipyörintänopeus on säädetty arvoon 20 r/s. Tämä on varsin korkea dieselmoottorin normaaliin tyhjäkäyntiin verrattuna. Korkea pyörimisnopeus on tarpeen kehittimen toiminnan takia. Alemmilla pyörimisnopeuksilla kehittimen tulipesän lämpötila laskee liian alas ja kaasun mukana kulkeutuu tervaa moottoriin. Tyhjäkäyntinopeus säädetään keskipakosäätimen ohjausvipuun vaikuttavalla säätöruuvilla. Näin säädin pitää moottorin pyörimisnopeuden lähes vakiona kaasun laadun vaihteluista huolimatta.



Kuva 4.2.11



SÄÄTÖVUUT			
Osat	Osien tai kokonaisuutensa nimitys	Prinssi- ja osien nro	Laatu
Valmistaja	Liitty	Osien sijainti	Muoto, mitat, mallei Alue
	Alueen Lähtö Paino	Tekninen piirros TSL 300-30	Säilytys Tila Hyt.
79-5-02		Korvattu	

4.3 Moottoritehon mittaukset

Enhkä kiinnostavin tieto puukaasutraktorin käyttäjän kannalta on laitteesta saatava teho. Puukaasutehoa verrataan yleensä traktorista dieselkäyttöisenä saatavaan tehoon. Vertailu on perusteltu vaikka on muistettava että moottoritehon lasku ei ole dieselkaasukäytössä tärkein traktorin käyttöominaisuuksiin vaikuttava tekijä. Laitteiston vaatima huolto, tehollisen työajan lyheneminen, heikentynyt näkyvyys ja eräiden työkoneiden käytön vaikeutuminen vaikuttavat huomattavasti enemmän traktorin käyttöön.

Puukaasukäyttöisen moottorin teho ei ole yhtä yksiselitteinen käsite kuin esimerkiksi dieselmoottorin teho. Puukaasukehittimen toiminta ei ole täysin tasaista, vaan kaasun lämpöarvossa tapahtuu muutoksia täysin häiriöttömänkin käynnin aikana. Tämä johtuu polttoaineen epätasaisesta valumisesta tulipesään, polttoaineen palakoon ja laadun vaihtelusta. Hienojakoista polttoainetta käyttäen vaihtelu on vähäisempää kuin esimerkiksi käytettäessä pilkkeitä polttoaineena. Kaasun lämpöarvon vaihtelun lisäksi pelkistyshiilikerroksen kaasun läpäisevyys vaihtelee. Tämä aiheuttaa vaihtelua puukaasulaitteiston imuvastukseen. Sekä kaasun lämpöarvon että imuvastuksen vaihtelut aiheuttavat muutoksia moottoritehossa. Laitteita paikoillaan käytettäessä, jolloin ajossa syntyvä värinä ei auta polttoaineen syöttöä, vaihtelut ovat korostuneesti havaittavissa.

Dieselkaasumoottorin tehoa mitattaessa, moottoriteho ei ole samalla säädöllä aina vakio, vaan toistetuissa mittauksissa syntyy tuloksiin hajontaa. Tässä tutkimuksessa esitettyjä tehokäyriä piirrettäessä on jätetty huomioimatta ilmeisistä kehittimen toimintahäiriöistä johtuvat heikot mittaustulokset. Muista tuloksista on pyritty löytämään keskimääräinen teho kullakin pyörimisnopeudella, tai kun mittaustuloksia on runsaasti on käyrä piirretty useimmin toistuvien tulosten perusteella. Tehokäyristä nähdään siis moottorin antama keskimääräinen teho traktoria paikoillaan käytettäessä. Polttoaineen syöttöhäiriöt vaikeuttivat AKMO-kehittimellä suoritettuja mittauksia. VAKOLAN hakekehittimellä ei syöttöhäiriöitä esiintynyt.

Kaikki moottoritehot on mitattu traktorin voimanottoakselilta käyttäen tehojarruna Schenk-vesijarrua tai M&W-3000 hydraulijarrua. M&W-jarrun näyttö tarkastettiin voimanottoakselille asennetulla momenttianturilla. Vertailutehona on käytetty VAKOLAn saman traktorin OECD-koetuksessa mittaamaa dieseltehoa. Tämä siksi että koetraktorin dieselteho on alempi muutetun ruiskutusennakon ja puristussuhteen takia. Tähän tehoon vertailtaessa puukaasutehot näyttäisivät liian suurilta.

Alennetulla puristussuhteella saatu puukaasuteho vastaa samalla tehoa, joka saataisiin kun turboahdettu traktori Valmet 702-S muutettiin puukaasukäyttöiseksi, jolloin turboahdin olisi poistettava traktorista.

4.3.1 AKMO 520 KIV

Tällä kehittimellä suoritettiin tehonmittaukset käyttäen Schenk-vesijarrua, teho mitattiin traktorin voimanottoakselilta. Tehonmittausten yhteydessä mitattiin myös traktorin polttonesteen ja kaasun kulutus. AKMO-kehittimen kaasun laadussa tapahtui voimakasta vaihtelua mittausten aikana. Tämä johtui tärinän puutteesta, jolloin polttoaine ei valunut tasaisesti tulipesään. Noin puolen tunnin ajon jälkeen kehittimeen muodostui säännönmukaisesti holvi, jolloin kaasun tuotto loppui ja mittaus oli keskeytettävä. Kuvassa 4.3.1 on esitetty AKMO 520 KIV-kehittintä käyttäen saatu moottoriteho ja vääntömomentti eri pyörimisnopeuksilla. Vääntömomentti ja pyörimisnopeus on redusoitu moottorin arvoiksi. Moottorin puristussuhde oli mittausten aikana 17:1. Ruiskutusennakko oli säädetty arvoon 27^oeykk.

Saatu maksimi moottoriteho oli 33 kW/37 r/s. Tämä on 62 % moottorin dieseltehosta, 53 kW. Tehokäyrän yläpää on varsin loiva, mikä viittaa siihen, että kaasun lämpöarvo ei nouse tässä kehittimessä riittävän ylös kaasunkulutuksen kasvaessa. Kehittimen tulipesä on ilmeisesti hieman liian suuri. Tulipesärenkaan läpimittaa pienentämällä olisi ilmeisesti saatu parempi teho. Koska kehitin oli saatu lainaksi lähinnä muun laitteiston toimintakuntoon saattamista varten, eikä tarpeellisia vaihto-osia ollut saatavana ei muutostöihin ryhdytty.

Edellä mainittuja toimintahäiriöitä syntyi AKMO-kehittimessä vain konetta paikoillaan käytettäessä. Kun kehittimellä ajettiin koeajoja maantiellä tai pellolla ei vastaavia ilmiöitä havaittu, vaan kehitin toimi täysin häiriöttömästi.

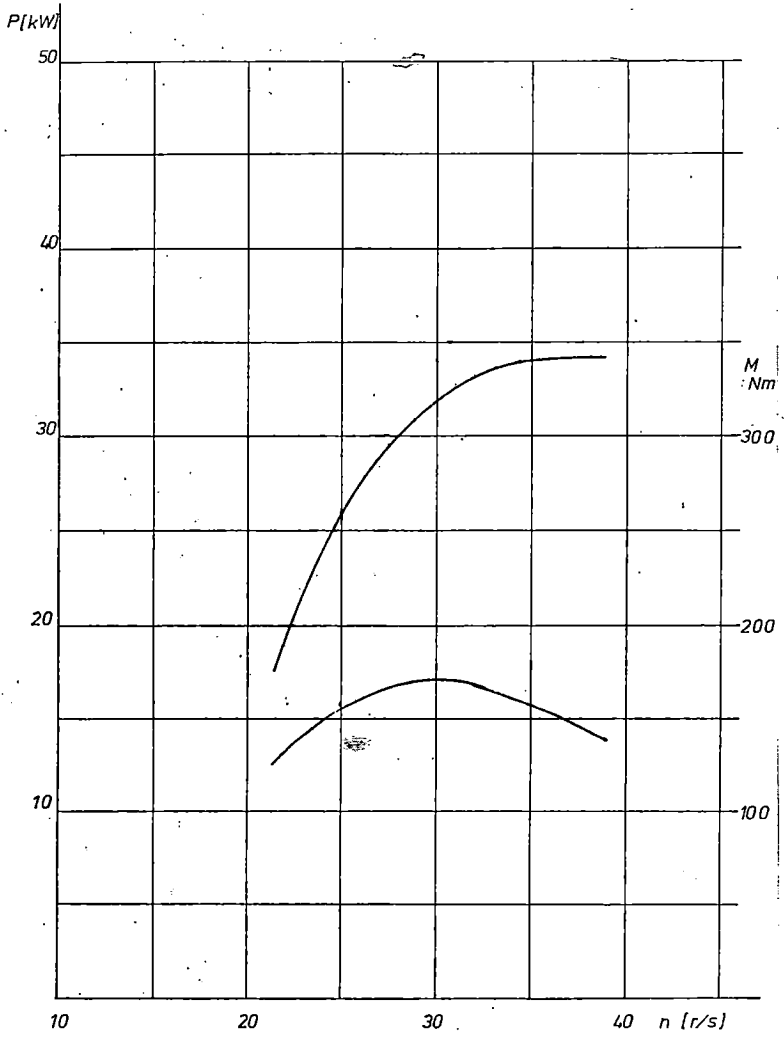
4.3.2 VAKOLAn hakekehitin

VAKOLassa valmistetun haketta polttoaineenaan käyttävän kehittimen tehonmittaukset tehtiin M&W-3000 hydraulijarrulla. Tehonmittauksia tehtiin etsittäessä sopivaa ruiskutusennakon asentoa ja tutkittaessa erilaisten polttoaineiden sopivuutta kehittimeen. Voa-tehomitauksin tutkittiin myös kehittimen tulipesän mittasuhteiden muutosten vaikutusta.

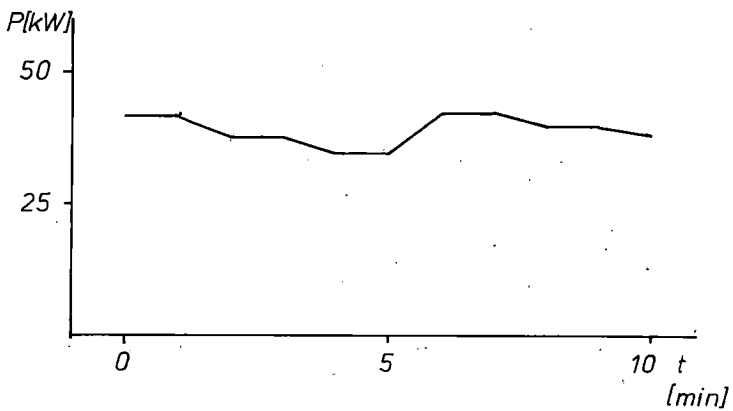
Hakekehitin toimi myös paikoillaan käytettäessä häiriöttömästi. Moottoriteho vaihtelee myös tällä kehittimellä, varsinkin käytettäessä karkeampaa palahaketta polttoaineena.

Kuvassa 4.3.2 on esitetty moottoriteho pyörimisnopeudella 25 r/s kymmenen minuutin mittausjakson aikana, rekistöinti 30 s välein. Polttoaineena kokeessa käytettiin 20 % kosteutta sisältävää palahaketta.

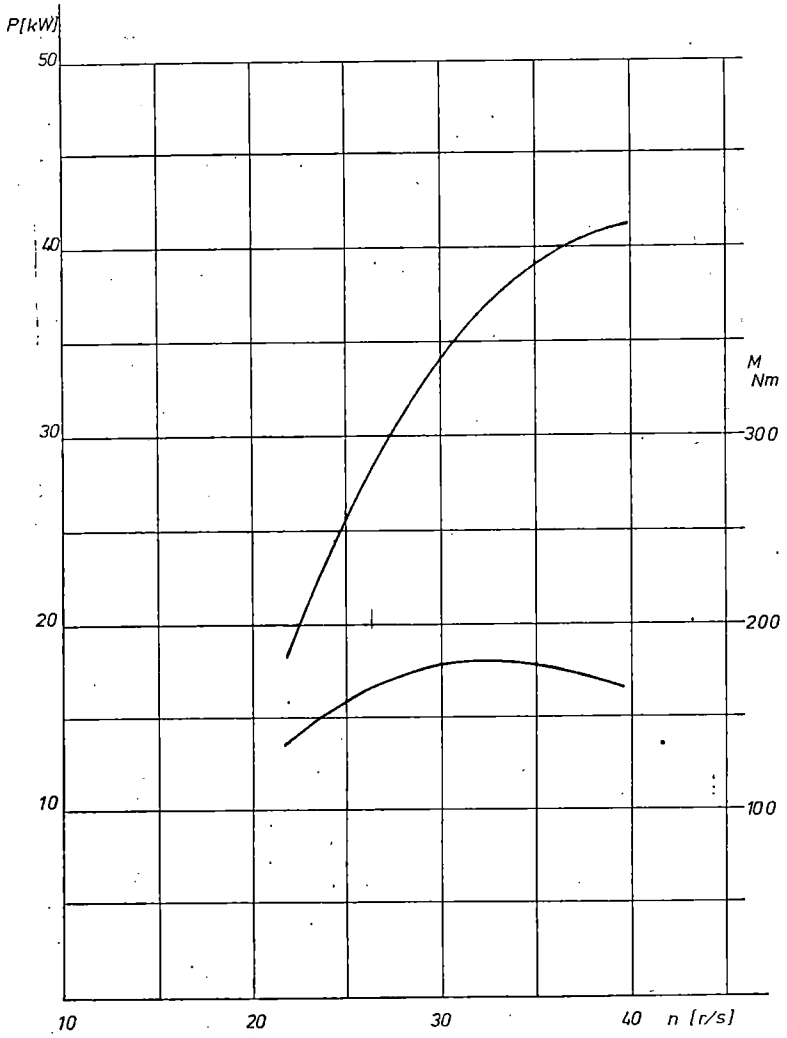
Esitetty tehokäyrä on mitattu kun kehittimen tulipesän mitat ja ruiskutusennakko olivat kokeiden perusteella etsityssä optimissa. Kuvassa 4.3.3 esitetyn tehokuvaajan maksimiarvo on 42 kW, mikä on 79 % moottorin dieseltehosta. Teho on mitattu edellä kehittimen esittelyn yhteydessä mainitulla tulipesän mitoilla ja 18° eykk ruiskutusennakolla. Moottorin puristussuhde oli mittauksessa 17:1.



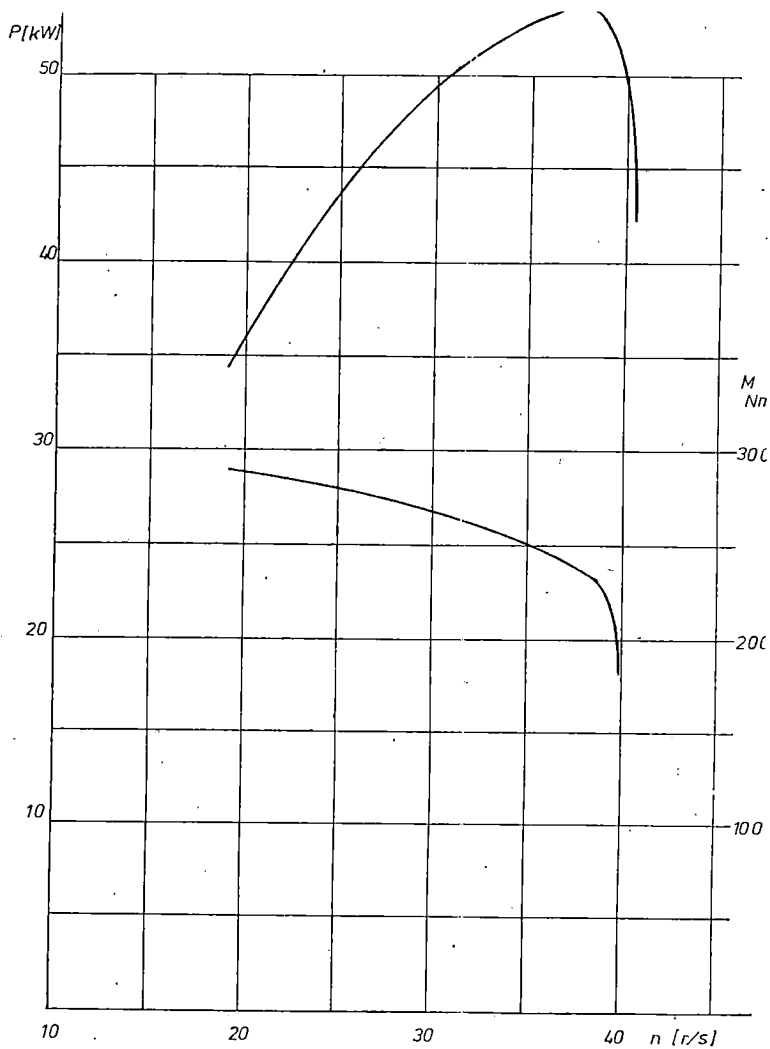
Kuva 4.3.1 Traktorin Voa-teho AKMO 520 KIV-kehittimellä



Kuva 4.3.2 Voa-tehon vaihtelu 10 min. aikana.
Vakolan kehitin, polttoaineena palahake,
kosteuspitoisuus 20 %
 $d_n = 90 \text{ mm}$ $e = 20^\circ \text{eykk}$.



Kuva 4.3.3 Voa-teho Vakolan kehittimellä



Kuva 4.3.4 Valmet 702-traktorin Voa-teho dieselkäyttöisenä

4.4 Polttonesteen, puun ja kaasun kulutus

Traktorin polttoaineen kulutusta tarkkailtiin tehonmittausajojen ja käyttökokeiden aikana. Tehonmittausajon yhteydessä kulutus mitattiin polttonesteen osalta VAKOLAn polttonesteenkulutuksen mitauslaitteella. Laitteistolla saatiin varsin tarkasti määräytyksi eri pyörimisnopeuksilla kulutettu polttonesteen määrä moottorin pyörimisnopeuden funktiona.

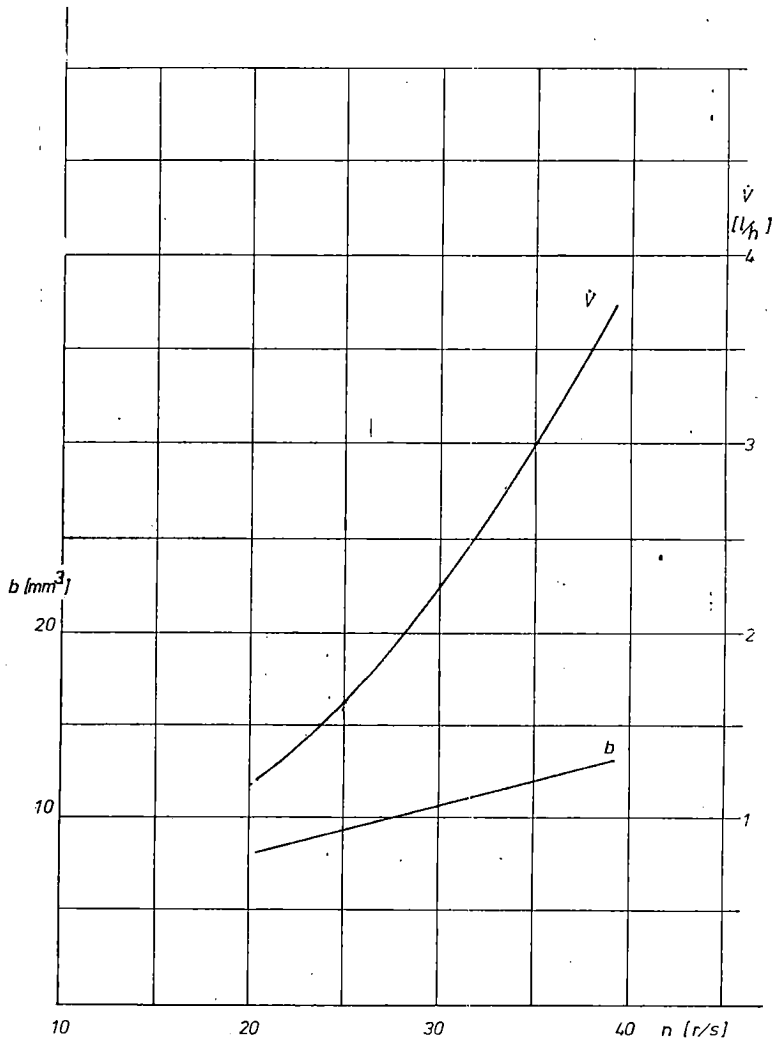
Kaasun kulutus mitattiin Kurki-Suonion esittämällä tavalla käyttäen kaasuputkeen asennettua neljännesympyrälaippaa, paine-ero-, paine- ja lämpömittaria (10). Puunkulutusta seurattiin rekisteröimällä käyttötunnit ja käytetyn puun paino.

4.4.1 Polttonesteen kulutus

Traktorin tehonmittausajon yhteydessä mitattiin polttonesteen kulutus moottorin pyörimisnopeuden funktiona. Dieselkaasukäytön kulutus ruiskutuspumpon optimiasetuksella on esitetty kuvassa 4.4.1. Lisäksi kulutus mitattiin käytännön työssä, esimerkiksi äestyksessä polttonestettä kuluu 2,5 l/h. Kulutus riippuu työssä käytetystä moottorin pyörimisnopeudesta.

4.4.2 Puun kulutus

Keskimääräinen puun kulutus koko koekäytön ajalta on 17,6 kg/h = 79,2 l/h (l/m^3 haketta painaa 230 kg). Koeajoon liittyy ajoa ilman kuormaa, jolloin kulutus on alhainen. Totuudenmukaisemman kuvan puun kulutuksesta antaa äestyksessä mitattu kulutus, joka on 24 kg/h = 105 l/h. Täydellä teholla puun kulutus on 32 kg/h. Kulutukset on mitattu 13 % kosteutta sisältävällä hakkeella.



Kuva 4.4.1 Polttonesteen kulutus dieselkaasukäytössä

4.4.3 Kaasun kulutus

Traktorin kaasun kulutus mitattiin tehomittausajon yhteydessä. Mitauksessa käytettiin Kurki-Suonion konstruoimaa neljännesympyrälaippaa (10). Virtausmittauksessa mitattiin kaasun lämpötila, paine ja paine-ero mittalaipassa.

Kaasun tilavuusvirta laskettiin sijoittamalla mitatut suureet lauskeeseen:

$$\dot{V}_g = 12,84 \frac{(P_1 - P_d)}{P_n} \cdot \frac{T_n}{T_1} \sqrt{\frac{\Delta P}{\frac{P_1 + P_d}{P_n} \times \frac{\rho_n T_n}{T_1} + \rho_d}} \quad (4.4.1)$$

missä P_n = normaali-ilmakehän paine 101,325 kPa
 T_n = 273,15^oK
 P_1 = Absoluuttinen paine ennen mittalaippaa kPa
 P_d = Vesihöyryn osapaine lämpötilassa T_1 kPa
 ρ_d = Vesihöyryn tiheys lämpötilassa T_1 kg/m³
 ρ_n = Kuivan kaasun tiheys lämpötilassa T_1 kg/m³
 Δp = Paine-ero mittalaipassa mmH₂O
 T_1 = Kaasun lämpötila

Kaasun tiheydeksi on laskuissa arvioitu $\rho_n = 0,957$ kg/m³ keskimääräisen kaasun koostumuksen perusteella.

Maksimikaasunkulutukseksi saatiin mittausten perusteella 83 Nm³/h/33 r/s. Tulos on suurempi kuin edellä on kokemuseräsitien ohjeiden mukaan määriteltä (64 Nm³/h). Poikkeava tulos johtuu ilmeisesti laitteiston alhaisesta imuvastuksesta, josta seuraa volumetrinen hyötysuhteen paraneminen ja mahdollisesta kaasun koostumuksen eroavuudesta oletettuun koostumukseen verrattuna.

Kaasun ja puun kulutuksia vertailemalla voidaan todeta 13 % kosteutta sisältävästä hakkeesta saatavan 2,5 m³ kaasua/kg haketta.

4.5 Ruiskutusennakon ja puristussuhteen muutosten vaikutus

AKMO-kehittintä käytettäessä moottorin normaalilla ruiskutusennakolla 18° eykk saavutettiin dieselkaasukäyttöisenä 31 kW moottoriteho. Kun ruiskutusennakko muutettiin aikaisemmalle saatiin paras teho 33 kW arvolla 27° eykk. Tällä ennakon arvolla moottori nakutti ajoittain ilmeisesti kaasun laatuvaihteluiden takia.

Ruiskutusennakon siirtäminen aikaisemmalle paransi moottoritehoa. Syynä on ilmeisesti se, että suurempi osa kaasuista palaa sylinterissä. AKMO-kehittimen yhteydessä ei kokeiltu puristussuhteen alentamista.

VAKOLAN kehittintä käytettäessä kokeiltiin ruiskutusennakon arvoja 30° eykk:sta lähtien. Kaasu nakutti kaikilla 18° eykk suuremmilla ennakon arvoilla. Kaasun laatu poikkeaa ilmeisesti AKMO:n kehittämästä kaasusta. Nakutuksen takia moottoriteho jäi suuremmilla ruiskutusennakon arvoilla huonommaksi kuin moottorin alkuperäisellä ruiskutusennakolla mitattu. Suurin saavutettu moottoriteho, joka on samalla kaikissa ko-keissa saavutetuista parhain oli 42 kW/38 r/s.

Kun puristussuhde muutettiin arvoon 16:1, muuttui moottorin puukaasukäynti pehmeämmäksi, ruiskutusennakon optimiasento oli edelleen 18°eykk, suuremmilla ennakonarvoilla moottori alkoi nakuttaa kun pyörimisnopeus täydellä kuormalla laski alle 25 r/s. Moottoriteho laski puristussuhteen alentamisen seurauksena. Korkein saavutettu moottoriteho puristussuh- teella 16:1 oli 41 kW/33 r/s.

Ruiskutusennakon siirtäminen aikaisemmalle vaikuttaa moottorin käyt- töön nestemäisellä polttoaineella. Moottorin dieselteho laskee ja käynti muuttuu huomattavan karkeaksi. Palamistapahtuma moottorissa häiriintyy ja paineennousu sylinterissä muuttuu äänestä päätellen jyrkemmäksi. 27° eykk ruiskutusennakolla suoritettussa dieseltehon- mittausajossa moottorin pakosarja hehkui punaisena. Moottorin lämpö- tila oli tavallista korkeampi ja ilmeisesti osien lämpörasitus oli normaalia suurempi.

Edellisestä päätellen ei ole syytä muuttaa moottorin ruiskutusennakkoa, mikäli lähes 80 % dieseltehosta on saavutettavissa muutoksia tekemättä. Näin välttäänsä ilmeisen välttämättömältä puristussuhteen alentamiselta ja samalla moottorin ominaisuudet dieselkäyttöisenä säilyvät ennallaan. Tässä on syytä korostaa, että moottorin nakutusominaisuudet ovat kullekin konstruktiolle yksilöllisiä. Optimi ruiskutusennakon arvo ja mahdollinen tarve muuttaa puristussuhdetta on määrättävä kokeilla. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset pätevät vain VALMET 411 B moottorille.

4.6 Muut kokeiden aikana ilmitulleet asiat

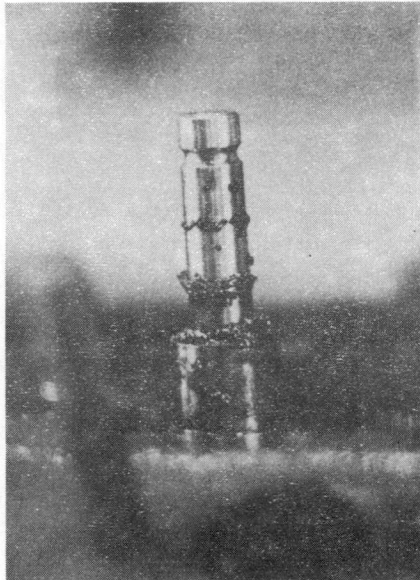
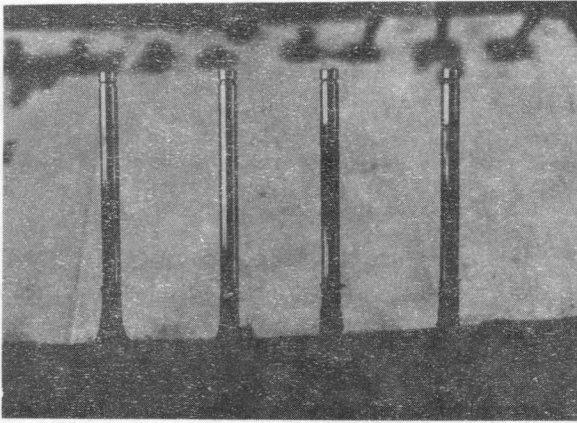
4.6.1 Terva

Uutta kehitintä käyttöön otettaessa, kun tulipesän mitat eivät olleet sopivat, sisälsi kehittäimestä saatava kaasun tervaa. Terva kulki kaasumaisena suodattimen läpi eikä aiheuttanut harmia. Jäähdyttimessä aine kondensoitui ja suurin osa siitä kulkeutui kondenssisäiliöön. Osa tervasta kulkeutui kuitenkin kaasun mukana moottoriin asti. Ajon aikana ei tästä ollut haittaa. Kun moottori pysäytettiin ja se sai jäähtyä, imuventtiilien varsiin takertunut terva jäykistyi ja seuraavassa käynnistyksessä venttiili ei auennut sillä seurauksella, että työntötanko vääntyi. Kuvissa 4.6.1 ja 4.6.2 nähdään tervan tahrimat imuventtiilit. Tervan jatkuva tulo kaasun mukana saatiin loppumaan tulipesän mittoja muuttamalla.

Muutoksen jälkeenkin, märkä polttoaine ja liiallinen tulipesän kohentelu aiheuttivat ajoittain tervan syntymistä. Märkä polttoaine estää tulipesän lämpötilan nousemasta riittävän ylös, jolloin terva ei hajaannu.

Liiallinen kohentelu johtaa siihen, että palamatonta polttoainetta joutuu reduktiohiilien joukkoon. Siellä se kuivatislautuu ja syntyy tervaa.

Myös liiallinen arinan liikuttelu aiheuttaa tervan syntymistä. Kun arina liikkuu se "syö" pelkistyshiilikerrosta altopäin. Liiallinen arinan liike kuluttaa hiiltä nopeasti. Uutta hiiltä ei ehdi syntyä, vaan osittain palamatonta polttoainetta valkuu pelkistyskerrokseen ja tuloksena on tervaa kaasun joukossa.



Kuva 4.6.1 ja 4.6.2 Tervaantuneet imuventtiilit

4.6.2 Sylinterin kannen tiivisteen vaurio

Kokeiden aikana todettiin 3-sylinterin pakoventtiilin vuotavan. Kun sylinterinkansi avattiin, löytyi pakoventtiiliin ja istukan väliin taipunut kannentiivisteen liekkirengas (kuva 4.6.3). Myös männissä 1., 3. ja 4. sylinterissä oli havaittavissa ylikuumenemisesta johtuvia vaurioita (kuva 4.6.4). Vauriot ovat syntyneet joko dieseltehonmittausajossa kun ruiskutusennakko oli 27° eykk tai puukaasuko-ajossa, jossa etsittiin sopivaa ruiskutusennakkoa. Dieselajossa moottori kuumeni voimakkaasti esimerkiksi pakosarja oli punahehkui-nen. Kaasulle sopivaa ruiskutusennakkoa etsittäessä moottori taas nakutti voimakkaasti suurilla ennakon arvoilla. Vauriot korjattiin vaihtamalla moottoriin kannen tiiviste, pakoventtiili ja uudet män-nät, jotka samalla alensivat puristusasteen 1:17:sta arvoon 1:16.

4.6.3 Ruiskutus-suuttimet

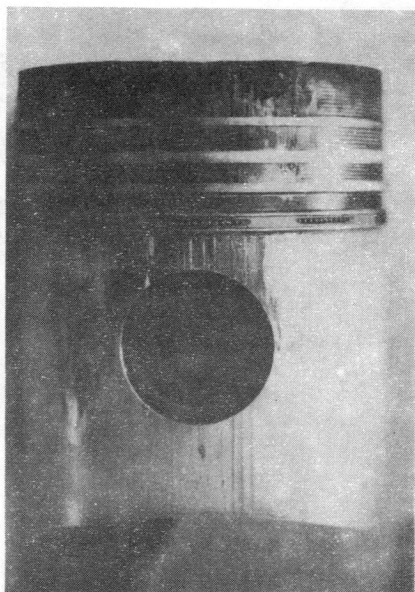
Moottorin korjaamisen yhteydessä tarkastettiin myös ruiskutus-suutti-met. 3-sylinterin suuttimessa oli merkkejä ylikuumenemisestä ja se vaihdettiin uuteen.

Ylikuumeneminen tapahtuu kuormitettaessa moottoria huippukierroksil-la. Moottorin pyörimisnopeutta rajoittaa ruiskutuspumpon säädin, jo-ka alkaa pienentää polttonesteannosta kun pyörimisnopeus on ylittänyt säädety-n arvon. Moottorin teho ei tästä kuitenkaan alene ennenkuin ruiskutusannos on pienentynyt niin pieneksi, että kaasu ei sen vaiku-tuksesta enää syty. Tämä pieni annos on huomattavasti sen rajan ala-puolella ($6 \text{ mm}^3/\text{annos}$), jossa suutinten jäähtytys on riittävä.

Jos moottoria kuormitetaan pitkään siten, että ruiskutuspumppu rajoit-taa sen pyörimisnopeuden, on seurauksena ruiskutus-suutinten ylikuume-neminen ja vurioituminen.



Kuva 4.6.3 Pakoventtiin väliin taipunut kannetiivisteiden liekkirengas



Kuva 4.6.4 Ylikuumentamisesta johtuva männän vaurioituminen

5. Taloudelliset näkökohdat

5.1 Puukaasulaitteiston valmistus

Materiaalit

Yhden puukaasulaitteiston valmistukseen tarvitaan karkeasti arvioiden seuraavat materiaalit:

2...4 mm teräslevyä Fe 37	140 kg
Ø 70 mm, ohutseinäistä teräsputkea	5 "
3 mm ruostumatonta teräslevyä	40 "
10 mm ruostumatonta teräslevyä	10 "
Alumiiniripaputkea	15 "
Suodatinkangasta	4,5 m ²
Verkkolevyä 3...10 mm silmä	10 kg
Käynnistystuuletin	
Arinamoottori	
Alipainekyllin	

Valmiin puukaasulaitteiston hinta on n. 15 000...20 000 mk (v. 1980).

Mahdollisen kriisitilanteen varalta olisi varmistettava, että mainittuja materiaaleja on riittävästi saatavilla. Lasikuitukangasta lukuunottamatta rakennemateriaalit ovat Suomessa valmistettuja. Näiden hankinta saattaa kuitenkin tuottaa vaikeuksia, mikäli esim. vuoden aikana olisi valmistettava 200 000 yksikköä, joilla voitaisiin turvata maatalouden ja kuljetusliikenteen minimitoimintakykyisyys.

Valmistus

Puukaasulaitteistojen valmistus tulisi järkeistää.

Kolmella eri kokoisella kehittimellä voidaan kattaa kaikki hyötyajoneuvot. Lisäksi tarvittaisiin mahdollisesti neljäs laitemalli henkilöautoja varten. Eri kokoisissa laitteistoissa voitaisiin käyttää runsaasti samoja vakio-osia.

Riittävä valmius puukaasutinlaitteiden valmistukseen olisi saavutettavissa kehittämällä yllämainitut kolme laitetyyppiä sarjavalmistuskelpoisiksi, ja mahdollisesti hankkimalla laitteiston eri komponenteille alihankkijat. Alihankkijoiden tehtävä olisi ylläpitää valmius ko. osien valmistamiseen.

Lisäksi saattaa olla tarpeen valvoa, ettei erilaisia "itse suunniteltuja" laitteita lähdetä laajasti valmistamaan, jotta välttyttäisiin merkkikirjavuodelta, joka 40-luvulla vaikeutti laitteistojen käyttöä ja huoltoa. Parempi olisi, että "standardikaasuttimen" piirustukset olisivat vapaasti kaikkien asiasta kiinnostuneiden käytettävissä.

5.2 Polttoaineen hankinta

Pääasiallisena polttoaineena puukaasuttimissa käytetään lehti- tai havupuuhaketta. Eräissä erikoistapauksissa, esimerkiksi kun polttoaine valmistetaan itse maatilalla, voidaan polttoaineena käyttää 5x5x5 cm pilkettä. Pilkkeellä on se etu, että sen kuivattaminen on helpompaa kuin hakkeen. Hake tulisi valmistaa noin 3 kuukauden ajaksi rasiin kaadetuista puista. Näin saatavan hakkeen kosteuspitoisuus on noin 30 %. Tästä haketta on vielä kuivattava koneellisesti. Tavoitteena on 10...20 % kosteuspitoisuus. Tämä saavutetaan myös mikäli haketettavat puut säilytetään noin vuoden ajan katetussa varastossa. Mikäli hake ei ole tasalaatuista hakkeesta on seulottava pois keskimääräistä raekokoa huomattavasti pienemmät ja suuremmat palat.

Hakkeen valmistukseen sopivia hakkureita ja kuivureita on maassamme riittävästi. Jotta valmistus sujuisi kiikkottomasti, on tietty etukäteissuunnittelu tälläkin alalla tarpeen.

Maatalouden tarpeisiin, kun 100 000 traktoria oletetaan muutetuksi dieselkaasukäyttöisiksi, tarvitaan vuosittain polttoaineita seuraavasti:

haketta	6,3 milj.m ³
dieselpolttonestettä	150 000 m ³

Vain dieselkäyttöisenä kuluisi dieselpolttonestettä 600 000 m³.

Traktoria kohden laskettuna vuotuinen hakkeen tarve olisi n. 63 m^3 /traktori ja polttonesteen kulutus $1,5 \text{ m}^3$ /traktori, kun oletetaan traktorille kertyvän 600 työtuntia vuodessa.

Traktorin tarvitsema polttoaine olisi hankittavissa metsistämme käyttäen valmistukseen muihin tarkoituksiin kelpaamatonta puuta. Energia- metsätoimikunnan mietinnön (38) mukaan olisi metsistämme teknisesti korjattavissa seuraavat nyt hyödyntämättä jäävät puumäärät:

Hakkuutähdehake	$3,01 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$
Kanto- ja juuripuu	$2,42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$
Kokopuuhake taimikoista	$3,26 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$
Ensiharvennuksista saatava hake	$1,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$
Vajaatuottoisista metsistä saatava hake	$5,54 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$
Yhteensä	$15,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Kaikki yllä lueteltu hake ei ole kelvollista puukaasupolttoaineeksi. On kuitenkin ilmeistä, että traktorien tarvitsema polttoaine saataisiin hankituksi teollisuuden raaka-aineisiin koskematta. Jos lisäksi oletetaan tarvittavan 100 000 maantieliikenteessä käytettävän kuorma-auton polttoaine hankittavaksi metsistä, voidaan arvioida tarvittavan saman verran lisää puuta. Tällöin eivät nyt hyödyntämättä jäävät, tarkoitukseen sopivat puuvarat enää riitä, vaan osa on otettava teollisuuden raaka-aineenaan käyttämästä puusta.

Lisäksi on muistettava, että tilanteessa, jossa puukaasuun mahdollisesti jouduttaisiin turvautumaan, on puulle muita kilpailevia käyttökohteita. Talojen lämmitys tapahtuisi tuolloin myös suurelta osalta turpeen ohella puuta polttoaineena käyttäen.

5.3 Käyttökustannukset

Sueraavassa on laskettu rinnan diesel- ja dieselkaasukäyttöisten traktorien käyttökustannukset. Laskelma antaa karkean kuvan eri polttoaineiden käytön kustannusten suhteesta. Sitä voidaan käyttää suuntaa antavana tietona arvioitaessa muiden ajoneuvojen kustannusten muuttamista siirryttäessä puukaasukäyttöön.

Vuotuiset kustannukset on laskettu seuraavasti.

Pääomakustannukset, korot ja poistot on laskettu annuiteettimenetelmällä (36). Kunnossapitokustannukset on määrätty kokemukseräisellä lausekkeella

$$k = \frac{5 \cdot \text{hinta}}{100} \quad (35) \quad (5.3.1)$$

Puukaasukäytössä kunnossapitokustannusten oletetaan olevan kaksinkertaiset kaavan mukaan määriteltäyn kustannukseen verrattuna.

Säilytyskustannukset on määrätty kokemukseräisellä lausekkeella

$$k_s = \frac{12 \text{ kk} \cdot 50 \text{ mk} \cdot 80 \text{ m}^3}{100} \quad (35) \quad (5.3.2)$$

Polttoainekustannusten pohjana on käytetty dieselikäytössä kulutusta 11,5 l/h ja dieselkaasukäytössä 2,3 l/h + 0,2 m³/h haketta.

Voiteluaineen kulutukseksi on oletettu 0,09 kg/h.

Saadaan seuraava laskelma:

	Diesel	Dieselkaasu	
Vuotuiset kustannukset			
Poistot + korot	Traktori	17958,54	17958,54
	Kehitin		4174,63
Kunnossapito	4675,00	9350,00	
Säilytys	480,00	480,00	
Vakuutus	650,00	650,00	
Yhteensä mk/a	23763,54	33613,17	
Kustannus/työtunti	39,60	56,02	
Polttoainekustannukset			
Polttoöljy	12,63	2,53	2,53
Hake	ostettu	11,44	
	oma	-	5,00
Voiteluöljy	0,83	0,83	0,83
Yhteensä mk/h	13,46	14,80	8,36
Kustannukset yhteensä mk/h	53,06	70,82	64,38

Kustannusjakutuma on esitetty myös kuvassa 5.1.

Hinnat ovat 15.3.1980 tasolla.

Lähtökohtana on

55 kW traktori	
käyttöikä	7 vuotta, 600 h/v
hinta	93 500 mk
jäännösarvo	31 720 mk

Puukaasulaitteisto

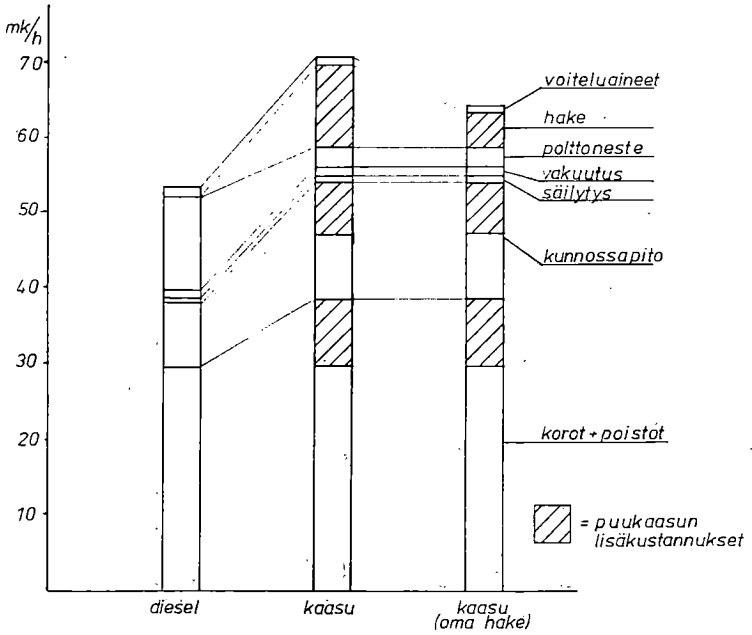
hinta	15 000 mk
jäännösarvo	500 mk
käyttöikä	3,5 vuotta, 600 h/v

Hakkeen hinta	ostettu	57,00 mk/m ³
	oma	20,00 mk/m ³

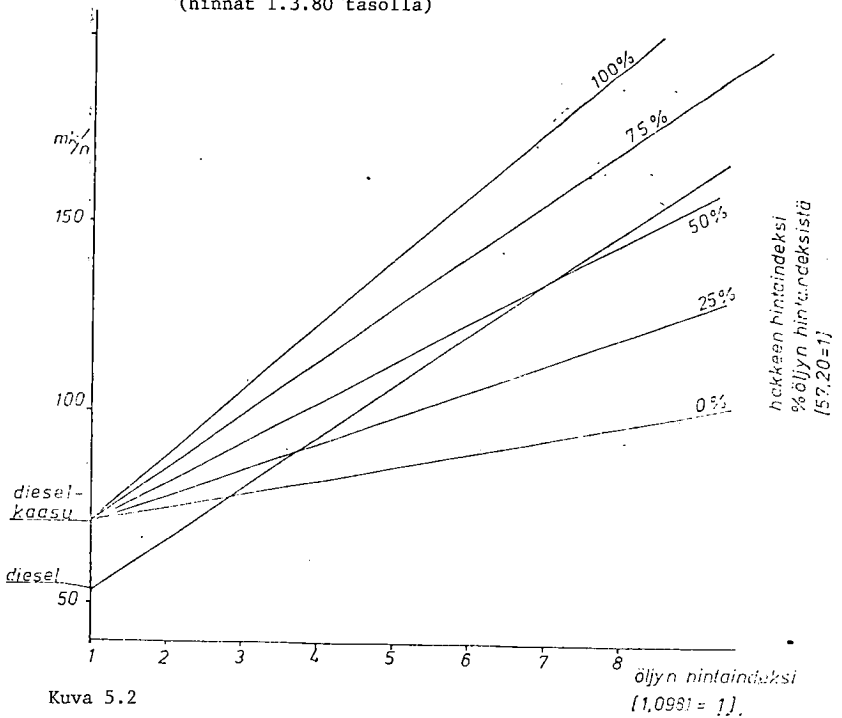
Polttoöljyn hinta 109,81 p/l

Kuvassa 5.2 on esitetty diesel- ja dieselkaasukäyttökustannusten vertailu öljynhinnan noustessa. Dieselkaasukustannukset on esitetty erilailla hakkeen hintakehityksillä. Mikäli hakkeen hinta pysyy muuttumattomana öljyn hinnan noustessa, tarvitaan öljyn hinnannousu n. 3 kertaiseksi nykyisestä, jotta puukaasukäyttö olisi taloudellisesti kannattavaa. Mikäli hakkeen hintaindeksin nousunopeus on 50 % öljyn hintaindeksin noususta, tarvitaan jo 7 kertainen öljynhintaa nykyiseen verrattuna, jotta puukaasukäyttö olisi taloudellisesti kannattavaa.

Yllä esitetyssä laskelmassa on oletettu hake hankittavaksi vapailta markkinoilta. Mikäli hake hankitaan esim. omasta metsästä, tulevat kustannukset tältä osin pienemmiksi (kuva 5.1).



Kuva 5.1 Traktorin käyttökustannukset eri polttoaineilla (hinnat 1.3.80 tasolla)



Kuva 5.2

(1,098) = 1,

5.4 Verotus

Jos ottomoottorilla varustettu ajoneuvo muutetaan puukaasukäyttöiseksi ei siitä jouduta maksamaan erityistä muutoksesta johtuvaa veroa.

Vastaavasti, jos ns. "dieselveron" alainen ajoneuvo muutetaan dieselkaasukäyttöiseksi, jolloin pääasiallinen käyttövoima saadaan puusta, ajoneuvo vapautuu mainitusta verosta. Verovapauden edellytys on kuitenkin varma näyttö että käyttövoimasta pääosa saadaan puusta. Näytön antaminen voi olla vaikeaa, koska esimerkiksi tässä tutkimuksessa esitettyin varustein voidaan moottoria käyttää myös pelkällä diesel- tai polttoöljyllä. Käynnistyksessä tämä on jopa välttämätöntä.

Oma ratkaisematon kysymyksensä on saadaanko esim. kuorma-autoissa käyttää sytytyspolttonesteenä polttoöljyä dieselpolttonesteen asemesta. Viranomaiset eivät vielä ole ottaneet kantaa yllämainittuihin kysymyksiin.

6. Turvallisuuskysymykset

Puukaasukäytön turvallisuusriskit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- tulipalon vaara
- myrkytysvaara
- laitteiston aiheuttama ajoneuvon käytön vaikeutuminen.

6.1 Tulipalon vaara

Tulipalon vaara johtuu seuraavista tekijöistä:

- Kaasun kehittäimestä saattaa päästä karkuun kipinöitä huolto-
töiden yhteydessä.
- Kehittimen kautta avattaessa puusäiliössä oleva kaasu palaa
hulmahtaen.
- Käynnistyvaiheessa kaasu poltetaan poistoputken suulla.
- Kehittimen ulkopinnan lämpötila on korkea.

Yllämainituista syistä kehittimen käyttö tulenarkojen materiaalien lä-
heisyydessä vaatii erityistä varovaisuutta. Kehittintä ei saa käynnistää
sisätiloissa eikä kehittäimestä saa poistaa tuhkaa muualle kuin sille
varattuun astiaan.

6.2 Myrkytysvaara

Puukaasun aineosa, hiilimonoksidi CO on erittäin myrkyllinen kaasu.
Sen myrkyllisyys johtuu aineen kyvystä syrjäyttää happi veren hemo-
globiinissa. Hiilimonoksidi on hajuton ja väritön kaasu. Puukaasussa
on kuitenkin muita aineosia, joilla on tunnusomainen haju. Hajua tun-
nettaessa on myrkytysvaara olemassa.

Hengenvaarallinen myrkytys voi syntyä kahdella tavalla. Akuutti myrky-
tys syntyy kun hengittää kehittäimestä esimerkiksi kannen avaamisen
jälkeen purkautuvaa kaasua. Jo muutama syvä hengitys riittää aiheuttamaan

tajuttomuuden. Myrkytys voi syntyä myös siten, että ilman hiilimonoksidipitoisuus on varsin alhainen, mutta tätä ilmaa hengitetään pitkään. Tällöin hiilimonoksidi aiheuttaa ensin väsymystä ja myöhemmin, altistuksen jatkuessa tajuttomuuden ja kuoleman. Jo 0,01 % pitoisuus on vaarallinen.

Puukaasulaitteita ei häikävaaran takia saa tuoda sisätiloihin välittömästi käytön jälkeen. Laitteiston luokkuja ei saa avata sisätiloissa. Puukaasuttimen käynnistys on suoritettava riittävän kaukana rakennuksista ja käynnistyksessä syntyvä kaasu on poltettava poistoaukon suulla.

6.3 Ajoneuvon käytön vaikeutuminen

Puukaasulaitteistolla varustettu ajoneuvo vaatii kuljettajaltaan enemmän kuin nestelmäistä polttoainetta käyttävä laite.

Puukaasulaitteet ovat varsin isokokoisia ja niiden asennus heikentää usein näkyvyyttä.

Puukaasulla ajettaessa ajoneuvon suorituskyky on heikompi ja laitteiston säätö vaatii osansa kuljettajan huomiokyvystä. Lisäksi laitteiston huoltotöihin sisältyy omat riskinsä.

Turvallisuusriskien minimoimiseksi on pidettävä huoli, että puukaasukäyttöisten ajoneuvojen kuljettajat saavat riittävän koulutuksen tehtävänsä.

Erityisesti myrkytysvaaraan on kiinnitettävä huomiota. Jokaisen puukaasuaajoneuvon kuljettajan tulisi ymmärtää laitteiston toimintatavat ja sen käyttöön liittyvät vaarat.

7. Kokeet kasviöljyn käytöstä dieselpolttonesteen korvaajana

Puukaasukokeiden lisäksi tutkittiin mahdollisuutta käyttää kasviöljyä dieselmoottorin polttoaineena. Kokeissa käytettiin Valtion margariinitehtaan toimittamaa rypsiöljyä. Öljyä käytettiin 50 % dieselpolttonesteellä laimennettuna ja sellaisenaan. Traktorin voimanottoakselilta saatava teho mitattiin M&W 3000 hydraulijarrua ja voimanottoakselilla olevaa vääntömomenttianturia käyttäen. Polttonesteen kulutusta seurattiin mittaamalla tietyn polttonestemäärän käyttämiseen kulunut aika. Lisäksi kokeiltiin rypsiöljyn käyttöä dieselkaasukäytön syytyspolttonesteena. Käytännön kokeiden lisäksi tutkittiin VTT:n poltto- ja voiteluainelaboratoriossa eräät rypsiöljyn ominaisuudet verrattuna DIN-standardissa dieselpolttonesteelle asetettaviin laatuvaatimuksiin.

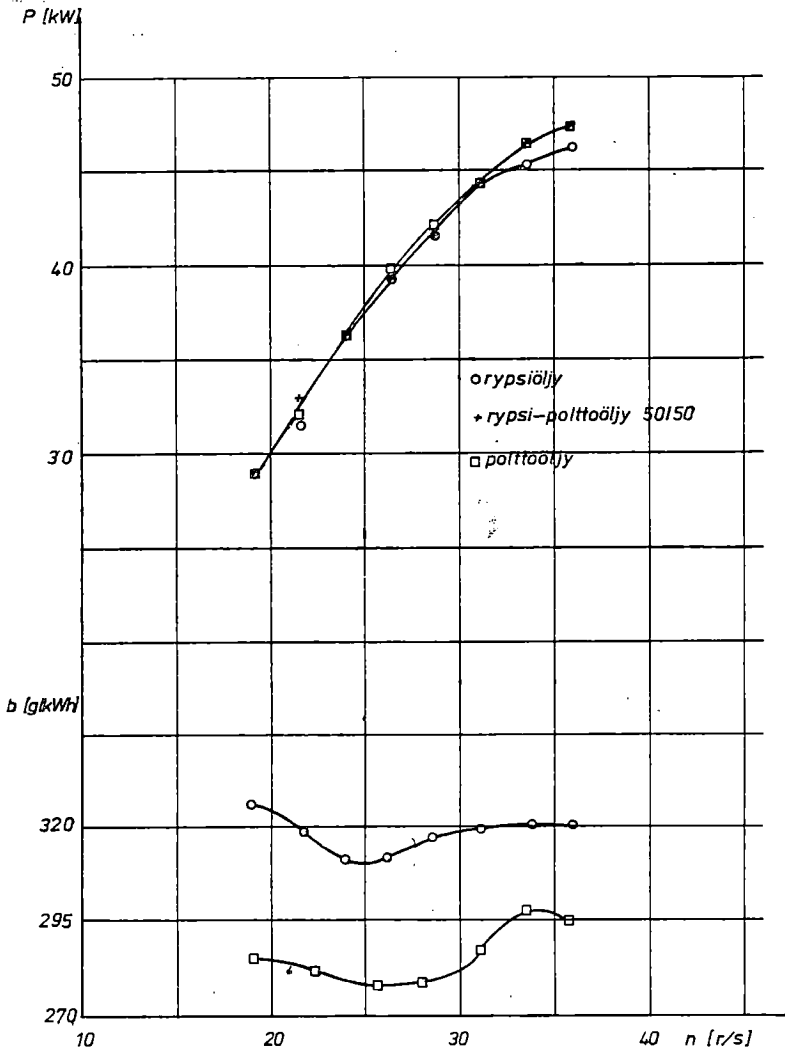
7.1 Koekäyttö

Kokeissa saadut mittaustulokset on esitetty kuvassa 7.1. Voimanottoakselilta mitattu teho oli 50 % rypsiöljyä sisältävällä seoksella ajettaessa sama kuin puhtaalla dieselöljyllä. (47 kW) 100 % rypsiöljyllä ajettaessa huipputeho oli n. 3 % alempi (45,5 kW). Alhaisemilla pyörimisnopeuksilla ero oli pienempi.

Kuvassa 7.1 on esitetty lisäksi moottorin ominaiskulutus käytettäessä polttonesteena dieselöljyä ja 100 % rypsiöljyä. Suurempi ominaiskulutus käytettäessä rypsiöljyä polttoaineena johtuu osittain rypsiöljyn alemmasta lämpöarvosta (37,2 MJ/kg, 40,4 MJ/dm³), osittain sen suuremmasta tiheydestä (920 kg/m³) dieselpolttonesteeseen verrattuna.

Tehomittausajon yhteydessä havaittiin lisäksi seuraavaa:

- Moottorin käyntiääni on rypsiöljyllä ajettaessa huomattavasti pehmeämpi kuin normaalisti.
- Moottori savuttaa silmämääräisesti arvioiden yhtä paljon kuin dieselpolttonestettä käytettäessä.
- Käynnistyvyys rypsiöljyllä on heikompi kuin dieselpolttonesteellä. 18°C lämpötilassa 16 tuntia seissyt moottori käynnistyi yhtä vaivalloisesti, kuin dieselmoottori normaalisti n. -15°C lämpötilassa.



Kuva 7.1 Moottoriteho ja ominaiskii-
tus

- Rypsiöljy sopii dieselkaasukäytön sytytyspolttonesteeksi kokeiden aikana vallinneessa lämpötilassa (18°C). Ruiskutuspumpan antama sytytysannos oli rypsiöljyä käytettäessä suurempi kuin samalla säädöllä dieselpolttonestettä käytettäessä. Öljyn suurempi viskositeetti vaikuttaa ilmeisesti ruiskutuspumpan elementeissä tapahtuvaa ohivuotoa pienentävästi.

7.2 Rypsiöljyn ominaisuudet DIN 51601-standardin vaatimuksiin verrattuna

Analyysitulokset on esitetty liitteessä II.

7.3 Rypsiöljyn tuotanto

Oheinen karkea arvio on tehty, jotta saataisiin kuva millaiset mahdollisuudet rypsiöljyn tuotantoon polttoaineeksi Suomessa on.

Öljykasvien (pääasiassa rypsi ja rapsi) sato Suomessa oli vuonna 1978 yhteensä 48 milj.kg ja viljelyala 32 000 ha (39). Rypsistä saadaan 1 kg öljyä/2,2 kg siemeniä. Näin saanto on 690 kg öljyä/ha/a. Rypsiöljyn energiasisältö on 37,20 MJ/kg (= 0,92), joten energiasaanto on 25 000 MJ/ha/a = 0,615 toe.

Kun maatalouden traktorit ja puimurit kuluttivat 280 000 toe/a (-76), voidaan arvioida, että jos kaikki mainittujen koneiden tarvitsema polttoaine "kasvatettaisiin" Suomessa, tarvittaisiin tähän yhteensä 460 000 ha peltoala, kun otetaan huomioon lisäksi tuotantoon tarvittava polttonesteen määrä, nousee pinta-alan tarve n. 500 000 hehtaariin, mikä on n. 20 % maamme peltoalasta. Samalla saataisiin n. 414 milj.kg valkuaisrehua.

7.4 Päätelmiä

Nyt tehty alustava tutkimus osoittaa samaa kuin lähteessä (31) on esitetty. Rypsiöljy sopii tietyn varauksin dieselmoottorin polttoaineeksi. Varauksia on esitettävä mm. lämpötilan, rypsiöljyn pitkäaikaisen käytön ja öljyn tuotantomahdollisuuksien suhteen. Alhaisissa lämpötiloissa rypsiöljyä on ohennettava jäykistyksen estämiseksi. Rypsiöljyn vaikutuksia

pitkäaikaisessa käytössä ei tunneta. Öljy saattaa aiheuttaa moottorin nokeentumista, korroosiota polttonestelaitteisiin ym.

Näihin kysymyksiin tulisi etsiä vastaukset laajemmalla tutkimuksella. Samoin olisi selvitettävä polttonesteeksi tarkoitettun rypsiöljyn reaalitiset tuotantomahdollisuudet ja laajamittaisen tuotannon mahdolliset sivuvaikutukset sekä öljyn valmistus- ja puhdistusmenetelmät.

Tässä tutkimuksessa on keskitytty rypsi-/rapsiöljyyn. Myös muut kasviöljyt saattaisivat tulla kysymykseen.

8. Yhteenveto

8.1 Mahdollisuudet korvata nestemäinen moottoripolttoaine puukaasulla

Puukaasu on varteenotettava polttoaine lähinnä kriisitilanteita silmällä pitäen. On ilmeistä, että tilanteessa, jossa nestemäisten polttoaineiden saanti on rajoitettu, joudutaan turvautumaan kaikkiin käytettävissä oleviin keinoihin ajoneuvokannan liikkeellä pitämiseksi. Puukaasu auttaisi osaltaan tässä tehtävässä.

Puukaasu sopii parhaiten ajoneuvoihin, jotka ovat "puuta lähellä". Maa-seudulla polttoainehuolto olisi järjestettävissä pienissä yksiköissä esimerkiksi lämmityksessä käytettävän hakkeen hankinnan yhteydessä. Tällaisissa oloissa jonkin asteinen puukaasun käyttöön siirtyminen saattaisi olla perusteltua vaikka varsinaista kriisiä ei olisikaan, mikäli öljyn hinnan nousu jatkuu. Samoin eräät paikallismoottorikäytöt olisivat mahdollisia. Näin saataisiin puukaasun käyttöä koskeva tieto levitetyksi käyttäjien keskuuteen ja valmius kriisitilanteiden varalta olisi parempi. Kaupunkioaloissa laajalti käytettäväksi henkilöautojen polttoaineeksi puukaasu ei sovi lähinnä turvallisuusriskiensä takia.

Tällä hetkellä puukaasu on ainoa dieselmootoreihin sopiva korvaava polttoaine, jota Suomessa on laajemmin tutkittu. Tutkimustyö nestemäisten korvaavien polttoaineiden osalta on käynnissä. Turpeesta synteettisesti valmistettava polttoneste ja kasviöljyt tulevat ilmeisesti tarjoamaan vaihtoehdon puukaasulle.

Jos öljyn saanti rajoittuu, on toivottavaa, että ne öljyn käyttökohteet, joissa se on helpointa, esimerkiksi kiinteistöjen lämmitys, ensimmäisenä siirrettäisiin muihin polttoaineisiin ja öljy käytettäisiin liikenteen tarpeisiin. Tällöin puukaasuun jouduttaisiin turvautumaan vasta erittäin vakavassa kriisissä. Kaikista haittapuolistaan huolimatta puukaasu kykenee osaltaan turvaamaan kuljetusliikenteen ja maatalouden rajoitetun toimintakyvyn mikäli öljyn saanti maahamme äkillisesti vähenee.

8.2 Toimenpide-ehdotuksia

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan katsoa puukaasun käyttötekniikan perusteiden olevan selvitetty. Useita lisätutkimusta kaipaavia kohteita on tullut ilmi tätä työtä tehtäessä. Näistä tärkeimpiä ovat seuraavat:

8.2.1 Puukaasun käyttömahdollisuudet paikalliskäytössä

Maatalouden sähkövoiman tuotantoon, viljan kylmäilmakuivaukseen, lämmitykseen ym. voitaisiin käyttää esimerkiksi erilaisten ajoneuvojen muuttamisessa dieselkäyttöiseksi tarpeettomiksi jääviä ottomootoreita, tai näitä perustana käyttäen koottuja energiapaketteja.

8.2.2 Standardikaasutinsarjan suunnittelu

Moottorit sylinteritilavuudeltaan 2...11 litraa voidaan kattaa kolmella eri kokoisella kehittimen perusmallilla. Vaihdeavilla sisäosilla voitaisiin kehittää sovittoa kullekin moottorille sopivaksi. Samoja vaihtosia voitaisiin käyttää eri kehittimissä. Jos tarjolla olisi piirustukset hyvin suunnitelluista ja kokeilluista laitteistoista olisi mahdollinen puukaasun käyttöönotto kriisitilanteessa helpommin toteutettavissa. Toisaalta myös normaalioloissa on olemassa kiinnostusta puukaasulaitteita kohtaan. Standardipiirustusten avulla vältyttäisiin kirjavan kaasutinkannan syntymiseltä, joka vaikeutti laitteiden huoltoa ja käyttöä 40-luvulla.

8.2.3 Turboahdetun dieselmoottorin muuttaminen dieselkaasukäyttöiseksi

Yhä useammat dieselmoottorit varustetaan nykyään turboahtimella. Nykyisen tiedon perusteella ahdin on jätettävä pois siirryttäessä dieselkaasukäyttöön. Asiaa tarkemmin tutkimalla voitaisiin löytää tapa ahtimen käyttämiseksi myös puukaasukäytössä esimerkiksi puristussuhdetta ja ahtopainetta muuttamalla.

8.2.4 Mekaanisesti käytetyn puhaltimen käyttö kehitinlaitteiston imuvastusten kumoamiseksi

Tällä järjestelyllä saataisiin kaasukäyttöisen moottorin huipputehoa parannetuksi.

8.2.5 Yhteistyö Ruotsissa puukaasututkimusta tekevän laitoksen kanssa

Lisätoimenpiteitä kaippaa myös tämä työn yhteydessä Ruotsiin tehdyn tutustumiskäynnin aikana saatu tarjous yhteistyöstä tällä alalla. Ruotsissa on puukaasututkimusta tehty intensiivisesti jo 60-luvun alusta (ks. liite 1). Ryhtymällä yhteistyöhön heidän kanssaan saataisiin valmiiksi suunnitellut puukaasulaitteet ja vuosikymmenien kokemus käyttöömme, eikä samoja asioita tarvitsisi keksiä uudelleen. Tämän tutkimuksen aikana on VAKOLAssa hankittu yhteistyöhön riittävä kokemus alalla. Yhteistyö edellyttäisi kuitenkin alan tutkimustyön muuttamista Suomessa jatkuvaluonteiseksi.

8.2.6 Kasviöljyn käyttö dieselpolttonesteenä

Kokeet kasviöljyn käytöstä dieselpolttonesteen korvaajana antoivat lupaavia tuloksia. Kokeita olisi laajennettava ja tutkittava öljyn käytön pitempiaikaiset vaikutukset. Samoin kasviöljyn käytön taloudellisen puoli kaipaaisi lisätutkimusta.

9. Kirjallisuusluettelo

- 1 Gengas, Svenska erfarenheter från åren 1939...45. Samlade och utgivna av ingenjörsvetenskapsakademien. (Useita kirjoittajia). Generalstabens litografiska anstalt förlag. Stockholm 1950. 358 s. Kirja on täydellisin alalta julkaistu teos.
- 2 Nordström, O., Redogörelse för Riksnämndens för ekonomisk försvarsberedskap forsknings- och försöksverksamhet vid statens maskinprovningar 1957-1963. Kapitel 1. Umeå 1964. 2 s.
- 3 Nordström, O., Redogörelse för...
Kapitel 2. Konvertering av dieselmotorer till gengasdrift. Umeå 1964. 27 s.
- 4 Nordström, O., Redogörelse för...
Kapitel 3. Vedgasgeneratorer. Umeå 1964. 25 s.
- 5 Nordström, O., Redogörelse för...
Kapitel 4. Vedgasrenare. Umeå 1964. 36 s.
- 6 Nordström, O., Redogörelse för...
Kapitel 5. Bränsle för vedgasgeneratorer. Umeå 1964. 20 s.
- 7 Gengasdrift av motorfordon, esite. Överstyrelsen för ekonomisk försvar. Stockholm 1974-04-30.
- 8 Tobler, J., Holz und Holzkohle als Treibstoffe für Motorfahrzeuge. Der Schweizerische Gesellschaft für das Studium der Motorbrennstoffe. Zürich 1944. 519 s.
- 9 Hyttiäinen, T., Kaasutinoppi. Pellervo-Seura, Helsinki 1945. 3. painos, 211 s.
- 10 Kurki-Suonio, I., Puukaasun käyttö dieselmoottorissa. Teknillisen korkeakoulun lämpövoimalaboratorion tutkimusselostus n:o 11. Helsinki 1965. 2. painos. 118 s.

- 11 Kurki-Suonio, I., Puukaasun käyttö dieselmotorissa II. Teknillisen korkeakoulun lämpövoimalaboratorion tutkimusselostus n:o 16. Helsinki 1963. 35 s.
- 12 Gustavsson, N., Bilmotorer och motorbränslen. Ab Nordiska bokförlaget Erdheim & Co. 2. painos. Stockholm 1944. 701 s. KOY.
- 13 Ansala, J., Tutkimus puukaasukäyttöisen ottomoottorin ahtamisesta. Diplomityö. TKK, Koneinsinööri-osasto. Otaniemi 1978. 115 s.
- 14 Ristimäki, A., Tutkimus puukaasuttimen soveltuvuudesta nykyaikaiseen ottomoottorilla varustettuun kuorma-autoon. Diplomityö. TKK, Koneinsinööri-osasto. Otaniemi 1976. 103 s.
- 15 Parmala, S-P., Puukaasukehittimen suunnittelu dieseltraktoriin. Diplomityö. TKK, Koneinsinööri-osasto. Otaniemi 1979. 93 s.
- 16 Lantmannen 1/1979 p. 7...10. För lantbruket är energin skitsak.
- 17 Traktor Journalen 4/1979 p. 138...139. Biogasframställning.
- 18 DLZ - die Landtechnische Zeitschrift 11/79 p. 1548...1552. Reinhold Bonfig: Neue Chancen für Biogasanlagen.
- 19 DLZ 2/80 p. 242...248. D.E. Dohne: Entwicklung Beim bau von Biogasanlagen.
- 20 W. Baader, E. Dohne, M. Brenndörfer, Biogas in Theorie und Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.v. Darmstadt 1978. 120 s.
- 21 MTZ - Motortechnische Zeitschrift 5/1979 p. 234. Erster VÖV-Omnibus mit Methanol-Dieselmotor.
- 22 Erdöl und Kohle 4/1978 p. 169...171. International symposium on alcohol fuel technology, methanol and ethanol.

- 23 DLZ 8/79 p. 785. Fahren Autos bald mit Alkohol.
- 24 MTZ 3/1976 p. 71...74. Fortschritte in der Verbrennungs-
motoren-Entwicklung.
- 25 MTZ 5/1976 p. 181...186. W. Lee, A. Köning, W. Berhardt,
Versuche mit Methanol und Methanol-Beuzin-Mischkraftstoffen.
- 26 ATZ 4/1979 p. 151...157. W. Berhardt, Ethanol aus Biomasse
als Kraftstoffe für Automobile.
- 27 Insinööriutiset 10.8.1979 p. 5. Aktueellt från Danmark.
- 28 Insinööriutiset 22.6.1979 p. 7. Turpeesta metanolia kil-
pailukykyisesti.
- 29 DLZ 6/1979 p. 1252...1254. M. Wörgitter, Pflanzenöl als
Traktortreibstoff?
- 30 MTZ 2/1958 p. 50...55. A. Haremann, M.R.M. Rao, T.L. Narashiman
Leistungssteigerung durch das "Vergaser-Diesel-Verfahren" mit
Alkohol.
- 31 J. Pernkopf, Pflanzenöl im Dieselmotor - eine Sicherstellung
der Ernährung im Krisenfall, Beitrag zu Ceneca-Kolloquium
"Landwirtschaft und Energie" 27. bis 29 Febr. 1980 in Paris.
Bunderversuchs - u. Prüfungsanstalt für landwirtschaftliche
Maschinen u. Geräte. Wieselburg 1980. 12 s.
- 32 Marttinen, Turve vaihtoehtoisena energialähteenä. Alustus-
puheenvuoro Shell-esitelmätillaisuudessa, Finlandiatlossa
13.3.1980.
- 33 Somersalo, A., Moottoripolttonesteiden tulevaisuus. Alustus-
puheenvuoro Shell-esitelmätillaisuudessa 13.3.1980.
- 34 Leppämäki, E., Alustuspuheenvuoro Shell-esitelmätillaisuudes-
sa 13.3.1980.

- 35 Jantsch, F., Kraftstoff Handbuch. Franckh'sche verlagshandlung:
Stuttgart 1949. 250 s.
- 36 Oksanen, E.H., Pokki J., Traktorin ja leikkuupuimurin työtun-
nin hintalaskelma. Pelto-Pirkan kalenteri 1980 ss. 253...259.
- 37 Pokki J., Kustannusten laskeminen annuiteettimenetelmällä,
Teho 4/1979 ss. 12...14.
- 38 Energiametsätoimikunnan mietintö I. Valtion painatuskeskus.
Helsinki 1979, 111 s.
- 39 Maatalousalan tiedotuskeskus. Tietovakka 1979.
- 40 Suullinen tiedonanto. Arne Lindgren.
Stantens maskinprovningar. Umeå 4...5.7.1979.

10 Luettelo käytetyistä lyhenteistä

A_m	=	Suutinpinta-ala	mm^2
A_s	=	Suodattimen tehollinen pinta-ala	m^2
b_c	=	Sytytyspolttonesteen kulutus	kg/sytytys
B	=	Polttonesteen massavirta	kg/s
B_h	=	Tulipesäkuormitus	$\text{Nm}^3/\text{m}^2\text{s}$
B_s	=	Suodatinkuormitus	$\text{Nm}^3/\text{m}^2\text{s}$
d_h	=	Tulipesärenkaan läpimitta	m
d_r	=	Suutinrenkaan läpimitta	m
d_r'	=	Suutinten kärkiympyrän läpimitta	m
d_m	=	Suutinreiän läpimitta	mm
d_p	=	Kaasuputken läpimitta	m
E	=	Puristussuhde	
G	=	Moottorin kaasun kulutus	Nm^3/s
h	=	H_2 :n %-osuus kaasuseoksesta	
h_m	=	Suutintason etäisyys tulipesärengastasosta	m
h_r	=	Arinatason etäisyys tulipesärengastasosta	m
i	=	Sylinterien lukumäärä	
l_m	=	Suuttimen pituus	mm
λ	=	Ilmakerroin	
L_o	=	Polttonesteen tarvitsema teoreettinen ilmamäärä	kg/kg
m	=	CO :n %-osuus kaasuseoksessa	
n	=	Pyörimisnopeus	r/s
n_s	=	Suutinten lukumäärä	
n_v	=	Volumetrinen hyötysuhde	
r	=	CH_4 :n %-osuus kaasuseoksessa	
ρ_o	=	Ilman tiheys	kg/m^3
ρ_p	=	Polttonesteen ominaispaino	kg/m^3

S	=	C_2H_4 :n %-osuus kaasuseoksessa	
t	=	C_nH_m :n %-osuus kaasuseoksessa	
toe	=	Yhtä öljytonnia vastaava energiamäärä = 40,6 GJ	
V	=	Moottorin iskutilavuus	m^3
\dot{V}_g	=	Kaasun tilavuusvirta	Nm^3/s
V_o	=	Kaasun ilmantarve	Nm^3/Nm^3
V_p	=	Ruiskutustilavuus/isku	mm^3
v	=	Kaasun virtausnopeus	m/s
x	=	Kaasun murto-osa kaasu-ilmaseoksesta	

Kertomus matkasta Statens Maskinprovningar:in
Uumajan toimipisteeseen 4 - 5.7.1979

Matkan tarkoitus: Tutustuminen Ruotsissa suoritettavan puukaasututkimuksen nykytilaan

Matkalla mukana: DI Ahokas (VAKOLA)
DI Parmala (VAKOLA)
DI Savolainen (VALMET)

Sisältö:	Matkan ohjelma	1
	Puukaasutinlaitteiden kehitystoiminta Ruotsissa	2
	- Suunnitellut laitteet	2
	- Käyttökokeissa olevat laitteet	3
	- Polttoaine ja sen esikäsittely	4
	- Puukaasulaboratorio	4
	- Käynnissä oleva tutkimustyö	4
	Vakolan koelaitteisto	5
	Yhteistyö puukaasututkimuksen alalla	5

Matkan ohjelma

4.7

- 9.00 Ruotsalaisen puukaasutinlaitteiden kehitystyön taustaa ja saavutettuja tuloksia
- 11.00 Tutustumiskäynti läheiselle maatilalle. Tilalla käytössä Volvo BM-650-traktori, joka on varustettu haketta polttoaineenaan käyttävällä puukaasulaitteistolla.
- 13.00 Yksityiskohtainen perehtyminen Ruotsissa kehitettyihin kaasutinlaitteistoihin.
- 15.00 Tutustuminen läheisellä maatilalla käytössä olevaan pilkkeellä toimivaan puukaasutraktoriin.

5.7

- 9.00 VAKOLassa suunnitellun puukaasukoelaitteiston piirustuksien tarkastelu ja kritiikki.
- 11.00 Tutustuminen Stantens Maskinprovningar'in puukaasulaboratorioon ja polttoaineen valmistusmenetelmiin.
- 13.00 Keskustelua puukaasututkimuksen nykyvaiheesta Ruotsissa ja Suomessa, tulevista tutkimuskohteista ja mahdollisesta yhteistyöstä tällä alalla.

Puukaasutinlaitteiden kehitystoiminta Ruotsissa

Statens Maskinprovningar on suorittanut puukaasutinlaitteiden kehitys- ja kokeilutoimintaa 50-luvulta lähtien. Työtä on tehty Överstyrelse för ekonomisk försvar (ÖEF):n toimeksiannosta. Tämän lisäksi myös VOLVO on kehittänyt puukaasutinta sodan jälkeisinä aikoina.

Vuonna 1972 solmivat ÖEF, VOLVO, SAAB-SCANIA ja Ruotsin puolustusvoimat yhteistyösopimuksen, jonka puitteissa kehitystyötä on sen jälkeen tehty. Sopimuksen mukaisesti Statens Maskinprovningar hoitaa laitteiden kehitystyön ja kokeilutoiminnan, Volvo hoitaa laitteistojen suunnittelun sarjatuotantoon sopivaksi ja tuotannon suunnittelun, Saab-Scania ja puolustusvoimat ovat mukana käyttökokeiden järjestelyssä.

Kehitystyön ja kokeilutoiminnan tavoitteena on ylläpitää ja kehittää edelleen tietoa puukaasutinlaitteista sekä taata valmius ajoneuvokannan tärkeimmän osan nopeaan varustamiseen puukaasuttimilla mikäli öljyn saanti äkillisesti vaikeutuu tai loppuu kokonaan.

- Suunnitellut laitteet

Statens Maskinprovningarilla työskentelee puukaasun parissa päätoimisesti kaksi henkilöä: Arne Lindgren ja Harald Andersson. Työn tuloksena on syntynyt traktoreita ja kuorma-autoja varten kolme eri kokoista kaasun kehittäjä:

Tyyppi	Sopiva moottoritulavuus
F 300	2...4,5 l
F 500	3,5...8 l
F 700	6...11 l

Lisäksi on henkilöautoja varten suunniteltu yksi perävaunussa vedettävä kehitin, joka sopii n. 2 l moottoreilla varustetuille autoille.

Suunnitellut standardimallit kattavat pääosan Ruotsin ajoneuvokannasta.

Lisäksi on kehitetty laitteiston muita osia. Suodattimena käytetään lasikuitukangasta. Jäähdytintä on vanhanmallinen, muutoksia siihen on tehty lähinnä sarjatuotantoon soveltuvuuden parantamiseksi.

seksi. Kaasun sekoitus tapahtuu yksinkertaisella T-putkisekoittimella ja tehonsäätö tapahtuu määräsäätöperiaatteella. Moottori on varustettu ylimääräisellä keskipakosäätimellä, joka hoitaa pyörimisnopeuden säädön puukaasukäytössä.

- Käyttökokeissa olevat puukaasulaitteet

Laitteiden kehittäminen tapahtuu pääasiassa käytännön kokeiden avulla. Tavoitteena on kehittää laitteista helppokäyttöisiä ja varmoja. Käyntimme aikana oli käyttökokeissa kaksi traktoria ja yksi kuorma-auto. Laitteet ovat luovutettu yksityisten yrittäjien käyttöön. Traktoreilla tehtiin työtä maataloilla ja kuorma-autoa käytettiin ammattimaisessa liikenteessä Uumajan ympäristössä.

Tutustuimme käytössä oleviin kahteen traktoriin lähemmin. Kumpikin kone oli tyyppiä Volvo BM-650. Toinen traktoreista oli varustettu pilkettä käytävällä, toinen haketta käytävällä kaasunkehittimellä. Kumpikin kone toimi dieselkaasuperiaatteella.

Traktoreita käyttävät maanviljelijät kertoivat koneiden olevan varsin käyttökelpoisia ja tekniseltä puoleltaan luotettavia. Käyttöhäiriöitä ei juuri ilmene ja traktoreita on helppo käyttää. Puukaasutinlaitteiden huolto vaatii oman aikansa mutta ei ole ylivoimaisen hankalaa. Suurin haitta on moottoritehon lasku n. 20...25% jonka huomaa raskaampia töitä tehtäessä pienentyneenä työsuoritteena. Lisäksi moottorin sitkeys on huonompi puukaasulla ajettaessa.

Traktorit kuluttavat keskiraskaassa maataloustyössä

dieselöljyä n. 2,4 l/h

haketta 94 l/h

Koeajossa oleva Scania LBS 110-kuorma-auto kuluttaa 6000 kg kuormalla, 50 km/h keskinopeudella maantiellä

dieselöljyä 81/100 km

havupuuhaketta 150 l/100 km

Pelkällä puukaasulla käyvä Volvo 244-henkilösuto kuluttaa

100 kg kuormalla 65 km/h keskinopeudella

havupuuhaketta 150 l/100 km

- Polttoaine ja sen esikäsitteily

Ruotsalaisissa laitteissa käytetään selluteollisuudelta ostettavaa haketta. Puulajilla ei ole merkitystä. Hake kuivataan lavakuivurissa, johon se levitetään n. 80 cm vahvuiseksi kerrokseksi ja kuivataan 60°C ilmalla noin kaksi vuorokautta. Kuivatun hakkeen kosteuspitoisuus on noin 10 p-%. Kuivatusta hakkeesta poistetaan karkein ja hienojakoisin osa seulomalla se ensin 50 x 50 seulaverkolla ja sen jälkeen 10 x 10 mm² seulaverkolla. Poistettava osuus hakkeesta on n. 5 %. Kuivattu, seulottu hake pakataan kolminkertaisiin paperisäkkeihin, joiden tilavuus on n. 100 l. Säkit suljetaan tiiviisti ja niitä säilytetään katetussa tilassa.

- Puukaasulaboratorio

Statens Maskinprovningarilla on puukaasukokeita varten myös koelaitteisto, johon kuuluu:

- Kaasun kehitin F 700
- 10 m² lasikuitusuodatin
- 4 m² jäähdytin
- 10 l suoraruiskutteinen Scania-dieselmoottori
- Schenk pyörrevirtajarru

Lisäksi laitteistoon kuuluu lämpötilan, paineen, virtausnopeuden ja kaasun koostumuksen mittalaitteet. Koelaitteistolla voidaan suorittaa erilaisten kaasuntinlaitteiston komponenttien ja polttoaineiden kokeiluja laboratorio-olosuhteissa.

- Käynnissä oleva tutkimustyö

Vierailumme aikaan oli työn alla suodattimien puhdistusmenetelmän parantaminen. Tavoitteena oli aikaansaada laite, jolla noki saadaan poistetuksi suodatinkankaista suodatinkoteloa avaamatta. Eräs ratkaisu, jota parhaillaan kokeiltiin, oli infraäänen käyttö.

Muita kehitystyötä vaativia kohteita ovat A. Lindgrenin mukaan mm. sekoittimen kehittämisen automaattisesti kaasun laadussa tapahtuvat muutokset huomioonotettaviksi. Edestakaisin liikuteltava arina ei ole täysin tyydyttävä ratkaisu pelkistysthiilikerroksen kohentamiseen, tarvittaisiin liikettä myös pystysuunnassa. Myös kehittimen käynnistysmenetelmää on kehitettävä, käynnistykseen

käytettiin sodanaikaisia puukaasutulitikkuja. Puukaasun käyttö ahdetuissa dieselmoottoreissa vaatii runsaasti lisätutkimusta. Nykyisellään on ahdin poistettava toiminnasta kun siirrytään puukaasukäyttöön. Tästä seuraa noin 50 % tehoalennus.

Keskusteluissa käsiteltiin myös Vakolassa suunniteltua säädettävää tulipesärengasta. Ruotsalaisten mielestä tämä idea on kiintoisa ja kehittämisen arvoinen.

Vakolan koelaitteisto

Arne Lindgren tutustui myös Vakolassa suunniteltuun koelaitteistoon. Varsin perusteellisen tarkastelun perusteella Lindgren ehdotti tiettyjen muutosten tekemistä kaasunkehittimen rakenteeseen. Muun muassa polttoainesuppilo oli liian lähellä suutintasoja ja arina liian kaukana tulipesävaipasta. Muilta osin Lindgren katsoi laitteen varsin toimintakelpoiseksi, paperilla tarkasteltuna.

Yhteistyö puukaasututkimuksessa

Loppukeskustelussa Arne Lindgren ehdotti yhteistyötä laitteistojen kehityksen vauhdittamiseksi. Ruotsalaiset ovat valmiit luovuttamaan tähän mennessä kehitetyn tekniikan ja hankitut kokemukset käyttöömmme. Jatkokehitystyö tästä eteenpäin voitaisiin hoitaa jakamalla kehityskohteet. Näin välttyttäisiin kaksinkertaiselta työltä.

Mitään sopimusta yhteistyöstä ei vielä tehty, vaan sovimme, että pyrimme saamaan koelaitteistomme ensin käyntiin ja hieman kokemusta kerätyksi, jonka jälkeen otamme uudelleen yhteyttä Statens Maskinprovningariin.

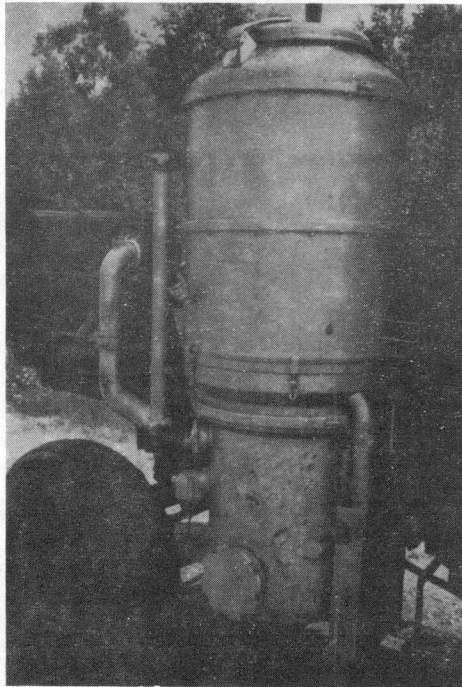
Yhteistyöhön ryhtymisen tekee epävarmaksi nyt käynnissä olevan tutkimuksen lyhyt aika. Ilmeisesti Ruotsissa haluttaisiin päästä pidempiaikaiseen yhteistyöhön Suomen kanssa. Tämä edellyttäisi jatkuvan tutkimustoiminnan aloittamista tältä alalta myös Suomessa.

Mikäli asia katsotaan tarpeelliseksi, on Ruotsista saatavissa kahden vuosikymmenen aikana kehitetty ajanmukainen puukaasutintekniikka ja laaja kokemusperäinen tieto varsin edullisesti käyttöömmme.

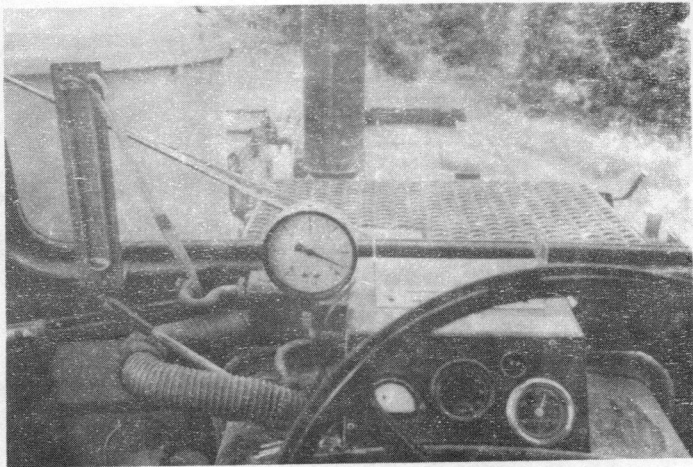
Yhteistyötarjouksen lisäksi Lindgren tarjosi asiantuntemuksensa käyttöömmme, mikäli nyt tehtävien kokeiden aikana ilmenee ongelmia.



Kuva 1. Haketta polttoaineenaan käyttävällä F-300-kehittimellä varustettu traktori. Polttoaine kuljetetaan traktorin katolla. Kehittimen edessä kaasun suodattimen kotelo.



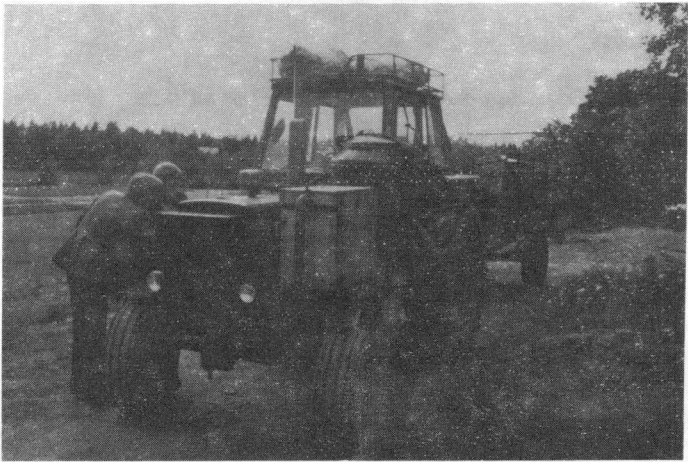
Kuva 2. F-300-kaasunkehitin.



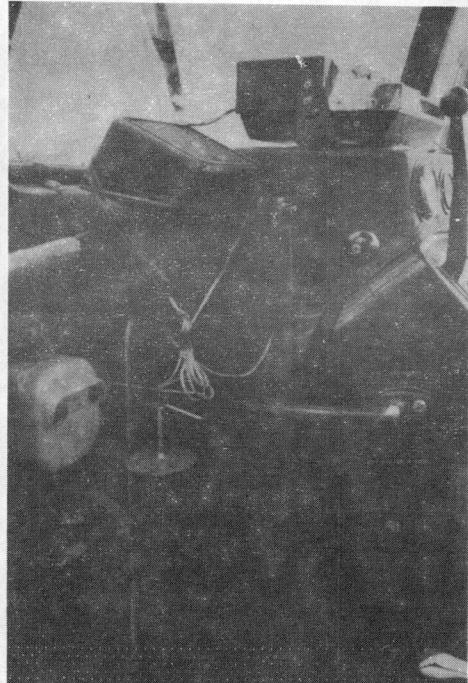
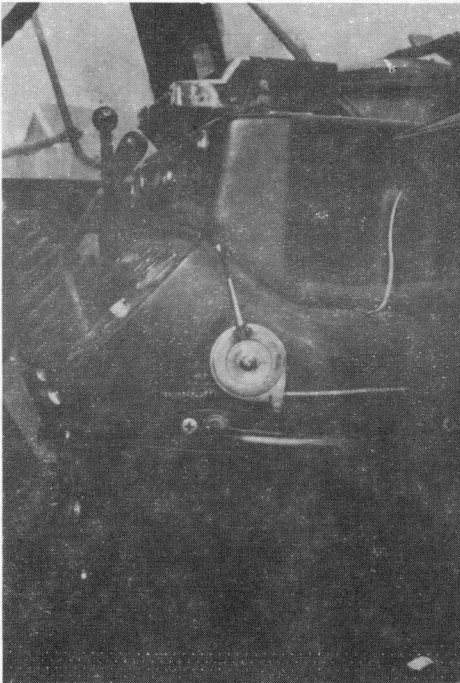
Kuva 3. Puukaasukäytössä tarpeellista mittarivarustusta. Vasemmalta suodattimen virtausvastusmittauksessa käytetty U-putki-manometri ja kaasuputken alipainemittari, mittaus kehittimen jälkeen. Keskellä kaasunlämpömittarit, mittaus tapahtuu ennen suodatinta ja jäähdyttimen jälkeen sijoitetuista mittauspisteistä. (Huom. Näkyvyys vasemmalle rajoitettu kehittimen suuren koon takia).



Kuva 4. Traktorin konepeiton päälle rakennettu kaasunkehittimen hoitotaso.



Kuva 5. Pilkettä polttoaineenaan käyttävällä kaasunkehittimellä varustettu traktori



Kuva 6. Ohjaamossa tarvittavat ylimääräiset säätövivut: Toiskoilma kaasuputken sulkuläppä ja dieselkäytön tehonsäätö.

