



# VAKOLA

03450 OLKKALA  
913-46211

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

TUTKIMUSSELOSTUS N:o 22

Simo-Pekka Parmala

PUUKAASU MOOTTORIAJONEUVOJEN  
POLTTOAINEENA

Vihti 1980



TUTKIMUSSELOSTUS N:o 22

Simo-Pekka Parmala

PUUKAASU MOOTTORIAJONEUVOJEN POLTTOAINEENA

Vihti 1980

## SISÄLLYSLUETTELO

1. Tiivistelmä
2. Puukaasulaitteisto
  - 2.1. Toiminta
  - 2.2. Käytettävä polttoaine
  - 2.3. Kaasun kehitin
    - 2.3.1. Kehittimen mitoitus
  - 2.4. Suodatin
    - 2.4.1. Suodattimen mitoitus
  - 2.5. Jäähdytin
  - 2.6. Sekoitin
  - 2.7. Kaasuputkisto
  - 2.8. Laitteiston sijoitus ajoneuvoihin
3. Moottorien varustaminen puukaasukäyttöön soveltuvaksi
  - 3.1. Ottomoottorit
  - 3.2. Dieselmoottorit
4. Taloudelliset näkökohdat
  - 4.1. Puukaasulaitteiston valmistus
  - 4.2. Polttoaineen hankinta
  - 4.3. Käyttökustannukset
5. Turvallisuuskysymykset
  - 5.1. Tulipalon vaara
  - 5.2. Myrkytysvaara
  - 5.3. Ajoneuvon käytön vaikeutuminen
6. VAKOLAN puukaasutukimus
  - 6.1. Polttoaine
  - 6.2. Kaasun kehitin
  - 6.3. Kaasun suodatin
  - 6.4. Jäähdytin
  - 6.5. Kaasun sekoitin ja tehon säätö
  - 6.6. Polttonestejärjestelmä
  - 6.7. Moottoriteho
  - 6.8. Laitteiston huolto
7. Koelaitteiston piirustukset
8. Kirjallisuusluettelo

## JOHDANTO

Tämä tutkimus on suoritettu Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksella. Maatilatalouden kehittämisrahaston apurahan turvin.

Tutkimuksen johtajana on ollut VAKOLA:n johtaja, prof. Alpo Reinikainen. Valvojakunnan puheenjohtajana on toiminut apul. prof. Antti Saarialho, sihteerinä DI Jukka Ahokas sekä jäseninä DI Rauno Bergius, DI Matti Suomi, DI Jouko Tommila ja ins.maj. K. U. Viinikka. Päättäjänä on toiminut DI Simo-Pekka Parmala.

Korvaavien polttoaineiden tutkimus Suomessa on ollut lähes pysähdyksissä viime vuosiin asti. Halvan tuontiöljyn aikana ei ole tunnettu tarvetta tutkia mahdollisuuksia kotimaisten polttoaineiden käyttöön. 70-luvun lopulla kiinnostus kotimaisten polttoaineiden käyttöön heräsi uudelleen. Jatkuvasti kohoava öljyn hinta ja tarve vähentää maan riippuvaisuutta tuontienergiasta antoivat aiheen tutkimustyön käynnistämiseen tällä alalla.

Tässä tutkimuksessa on perehdytty lähinnä puukaasun käyttöön polttomooattoreissa. Tarkoitus on esittää lyhyesti puukaasun käyttötekniikkaa, -taloutta ja muita aiheeseen liittyviä näkökohtia.

### 1. TIIVISTELMÄ

Puukaasu on varteenotettava korvaava polttoaine lähinnä kriisitilanteita silmällä pitäen. Tällaisessa tilanteessa ei kustannuksilla ole samaa merkitystä kuin silloin kun öljypohjaisia polttoaineita on saatavissa rajoittamattomasti. Puukaasun avulla saadaan varmuusvarastot riittämään pitemmäksi aikaa.

Puukaasu sopii parhaiten käytettäväksi ajoneuvoissa, jotka ovat "puuta lähellä". Maaseudulla polttoainehuolto on järjestettävissä pienissä yksiköissä esimerkiksi kiinteistöjen lämmityksessä käytettävän polttoaineen hankinnan yhteydessä. Tällaisissa oloissa sen käyttö voi olla perusteltua vaikkei

varsinaista "öljykriisiä" olisikaan. Näin saataisiin puukaasukäyttöä koskeva tieto jaetuksi käyttäjien keskuuteen ja mahdollisessa kriisitilanteessa siirtyminen laajempaan puukaasukäyttöön tapahtuisi helpommin.

Tällä hetkellä puukaasu on ainoa dieselmootoreihin sopiva korvaava polttoaine, jota Suomessa on laajemmin tutkittu. Tutkimustyö nestemäisten, esimerkiksi turpeesta synteettisesti valmistettavat polttoaineen osalta on käynnissä. Eräät kasviöljyt soveltuvat korvaamaan dieselpolttonesteen osittain tai kokonaan. Kriisitilannetta ajatellen on ilmeistä, että kaikkiin käytettävissä oleviin keinoihin ajoneuvokannan liikkeellä pitämiseksi on turvauduttava. Tällöin tulee kysymykseen myös puukaasun käyttö. Kaikista haittapuolistaan huolimatta se pystyy osaltaan turvaamaan kuljetusliikenteen ja maatalouden rajoitetun toimintakyvyn, mikäli öljyn saanti maahamme äkillisesti vähenee.

Mikäli saanti loppuu kokonaan voidaan puukaasulla korvata suurin osa hyötyliikenteen polttoaineen tarpeesta ja näin saada pidemmäksi aika, jossa on löydettävä uusi polttoaine liikenteen tarpeisiin.

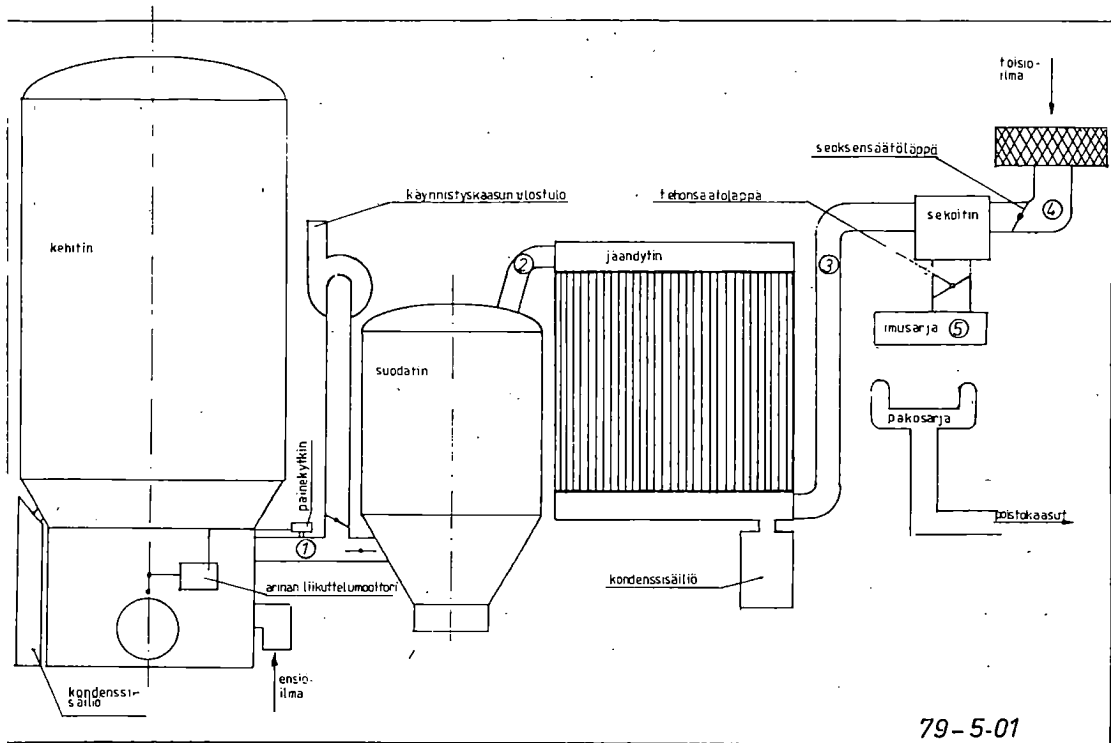
## 2. PUUKAASUTINLAITTEISTO

### 2.1 Toimintaperiaate

Puukaasu (häkä) valmistetaan kaasun kehittimessä, josta se johdetaan suodattimen ja jäähdyttimen kautta sekoittimeen. Sekoittimessa muodostetaan kaasun ja ilman palava seos, joka johdetaan moottoriin (kuva 2.1). Laitteisto käynnistetään sähkötuulettimella, jolla saadaan aikaan tarvittava veto, kun kaasu ei vielä ole kelvollista moottorissa käytettäväksi.

### 2.2 Käytettävä polttoaine

Kaasun kehittimessä käytetään polttoaineena sopivaan palakokoon pilkottua puuta. Sopiva palakoko määräytyy kehittimen rakenteen perusteella. Kehitin voidaan muotoilla sellaiseksi, että se toimii hakkeella, vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös karkeampia n. 5 x 5 x 5 cm kokoisia pilkkeitä.



79-5-01

Kuva 2.1 Puukaasutinlaitteisto

Käytettävän puun tulee olla kuivaa. Kosteuspitoisuus saa olla 10...20 %. Mitä kuivempaa puu on, sitä paremmin se sopii polttoaineeksi. Riittävän kuivan polttoaineen aikaansaamiseksi on puu kuivattava koneellisesti. Välttävää polttoainetta saadaan myös riittävän kauan katetussa varastossa säilytetystä puusta.

Eri puulajien välillä ei ole oleellisia eroja niiden soveltavuudessa puukaasupolttoaineeksi. Paras tulos saavutetaan käyttämällä sekoitusta, jossa on mukana sekä havu- että lehtipuuta.

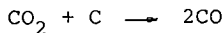
30- ja 40-luvulla käytettiin myös puuhiiltä polttoaineena. Hiilen käyttö ei kuitenkaan ole perusteltua sen vaatiman hankalan valmistusprosessin takia. Hiilen valmistuksessa menetetään lisäksi suuri osa puun lämpösisällöstä (1 m<sup>3</sup> puuta vastaa n. 200 l bensiiniä, hiileksi valmistettuna vain n. 80 l bensiiniä).

### 2.3. Kehitin

Kaasu valmistetaan kaasun kehittimessä osittaisen palamisen tuloksena (kuva 2.2). Ilma tuodaan kehittimeen palamisilmasuutinten kautta. Suutinten edessä oleva polttoaine palaa. Syntyvä lämpö kuivattaa ja hiiltää palamisvyöhykkeen yläpuolella olevan polttoaineen. Utta polttoainetta laskeutuu palaneen tilalle polttoainesäiliöstä.

Palamisvyöhykkeessä syntyneet kaasut ja osa vesihöyrystä kulkee tulipesässä alaspäin pelkistysvyöhykkeeseen. Pelkistysvyöhykkeen muodostaa hehkuva hiilikerros, jonka lämpötila on 800...1000 °C.

Kulkiessaan tämän kerroksen läpi hiilidioksidi pelkistyy kaavan

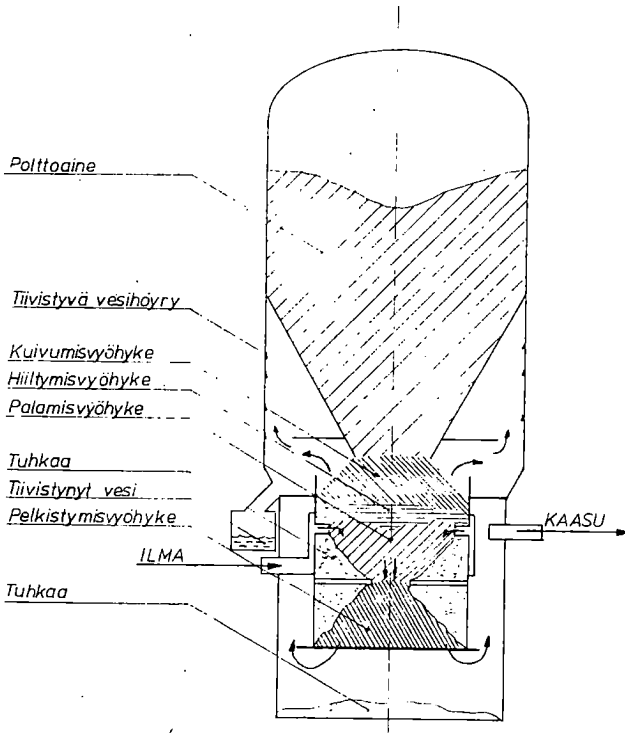


mukaisesti häkäkaasuksi. Vesihöyry reagoi hiilen kanssa kaavan



mukaisesti.





Kuva 2.2 Kaasunkehittimen toimintaperiaate

Syntyvä kaasu sisältää siten vetyä ja hiilimonoksidia eli häkää. Lisäksi kaasussa on mukana pieniä määriä metaania ja raskaampia hiilivetyjä. Ne syntyvät pääasiassa tervan hajoamistuotteista. Palavien aineosien lisäksi kaasu sisältää erilaisia palamattomia komponentteja, kuten tyypeä ja hiilidioksidia, joka ei ole pelkistynyt sekä vesihöyryä.

Saatavan kaasun koostumus on seuraava:

CO	17...22 %
H <sub>2</sub>	16...20 %
CH <sub>2</sub>	2... 3 %
CnHm	0,2...0,4 %
CO <sub>2</sub>	10...15 %
N <sub>2</sub>	45...50 %

Polttoaineen palamisen tuloksena syntyvä tuhka ja hienojakoinen hiili varisevat arinan lävitse kehittimen pohjalle.

Hakekäyttöisessä kehittimessä arina on tehty sähkömoottorin liikuttelemaksi, jotta kaasun virtaus hiilikerroksen läpi tapahtuisi esteettä. Hakkeesta syntyvä hienojakoinen tuhka tukkii muuten hiilikerroksen hyvin nopeasti.

Polttoaineen kuivumisessa syntyvä vesihöyry kulkeutuu polttoainesäiliön seinämille ja tiivistyy siellä vedeksi. Tämä vesi kerätään erityiseen kondenssisäiliöön, josta se on poistettavissa käytön jälkeen.

### 2.3.1. Kehittimen mitoitus

Kehitin mitoitetaan moottorin kaasun tarpeeseen sopivaksi. Diesel- ja ottomoottorien kaasun tarve voidaan määrittää kuvan 2.3 mukaan.

Kehittimen toiminnan kannalta tärkeimmät mitat on esitetty kuvassa 2.4.

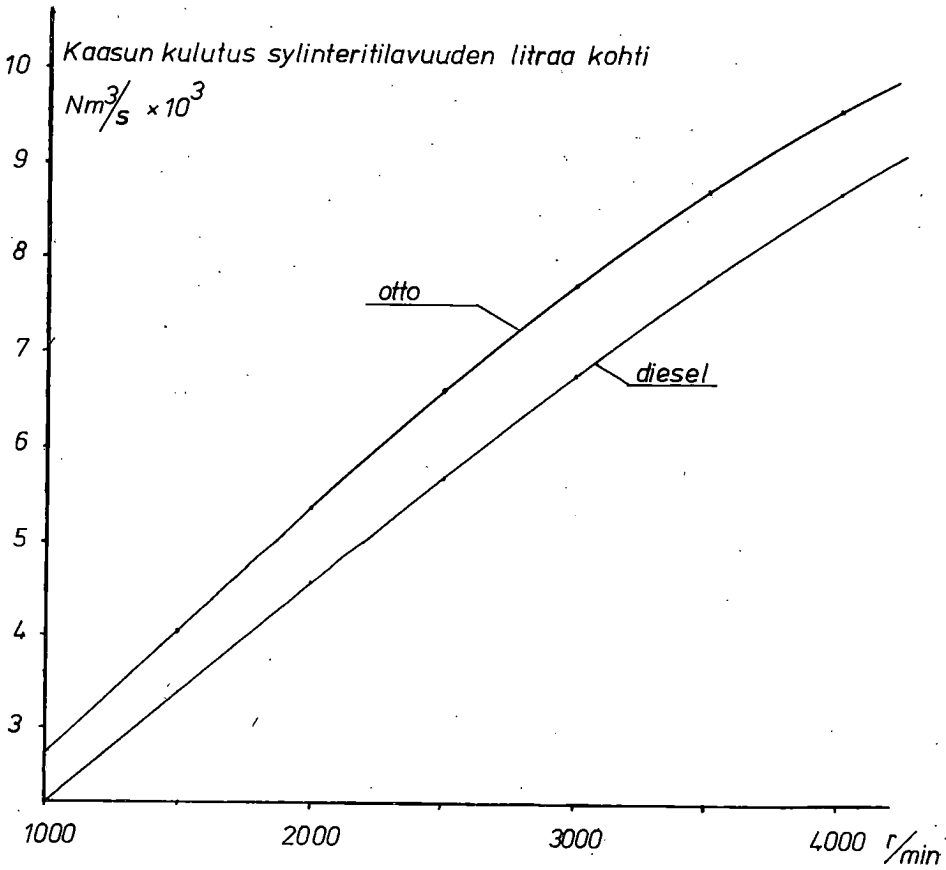
- Tulipesärenkaan läpimitta  $dh$

Tämä mitta määritetään lausekkeella:

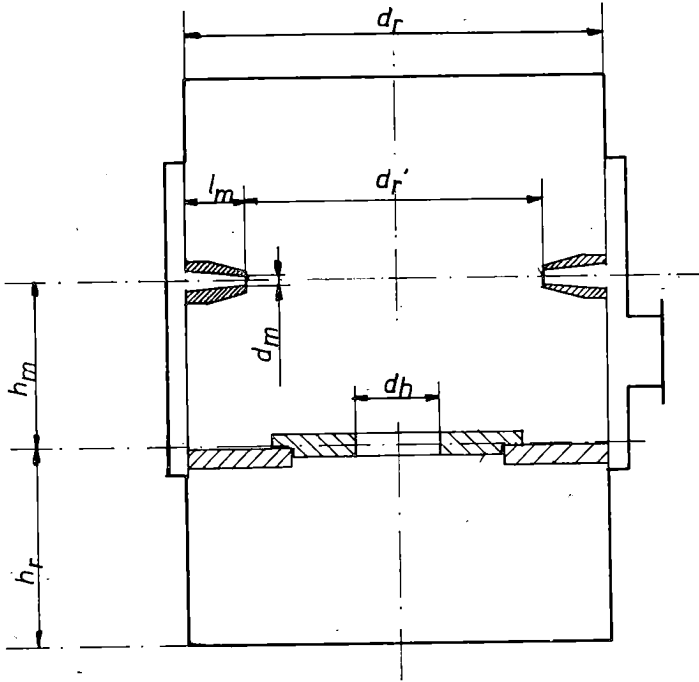
$$dh = \sqrt{\frac{4 \dot{V}_g}{\pi B_h}}$$

jossa  $\dot{V}_g$  = moottorin kaasun kulutus  $\text{Nm}^3/\text{s}$

$B_h$  = Tulipesäkuormitus  $\text{Nm}^3/\text{sm}^2$



Kuva 2.3 Moottorin kaasun kulutus sylinteritilavuuden litraa kohti



Kuva 2.4 Kehittimen tulipesän mitat

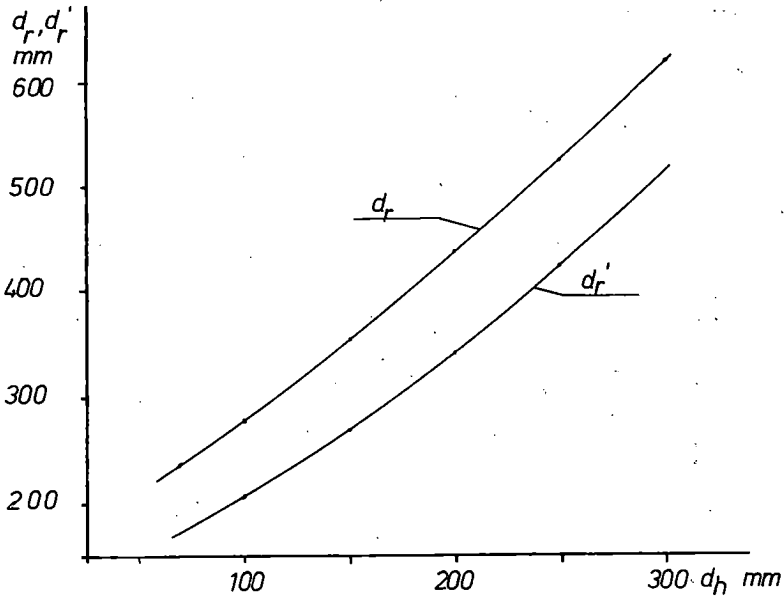
Sopiva arvo  $B_h$ :lle on  $2,7...3 \text{ Nm}^3/\text{sm}^2$

- Suutinrenkaan läpimitta  $d_r$   
Tämä mitta määrätään kuvan 2.5 perusteella, kun  $d_h$  tunnetaan.
- Suutinten kärkiympyrän läpimitta  $d_r'$   
Tämä mitta määritetään kuten edellinen, kuva 2.5 mukaan.
- Suutinreiän läpimitta  $d_m$   
Kuvassa 2.6. on esitetty suutinreikien yhteenlasketun poikkipinta-alan riippuvuus tulipesärenkaan aukon läpimitasta

$A_m$  = suutinreikien yhteenlaskettu pinta-ala

$d_h$  = tulipesärenkaan aukon läpimitta.

Tämän perusteella, kun tunnetaan suutinten lukumäärä, määrätään suutinreiän läpimitta.



Kuva 2.5 Suutinrenkaan läpimitta tulipesärenkaan läpimitan funktiona

- Suutinten lukumäärä  $n$

Lukumäärä määräytyy mitan  $d_r$  mukaan seuraavasti:

$d_r$	$n$
200 - 250	5
250 - 300	6
300 - 400	7
400 - 600	8
600 - 900	9

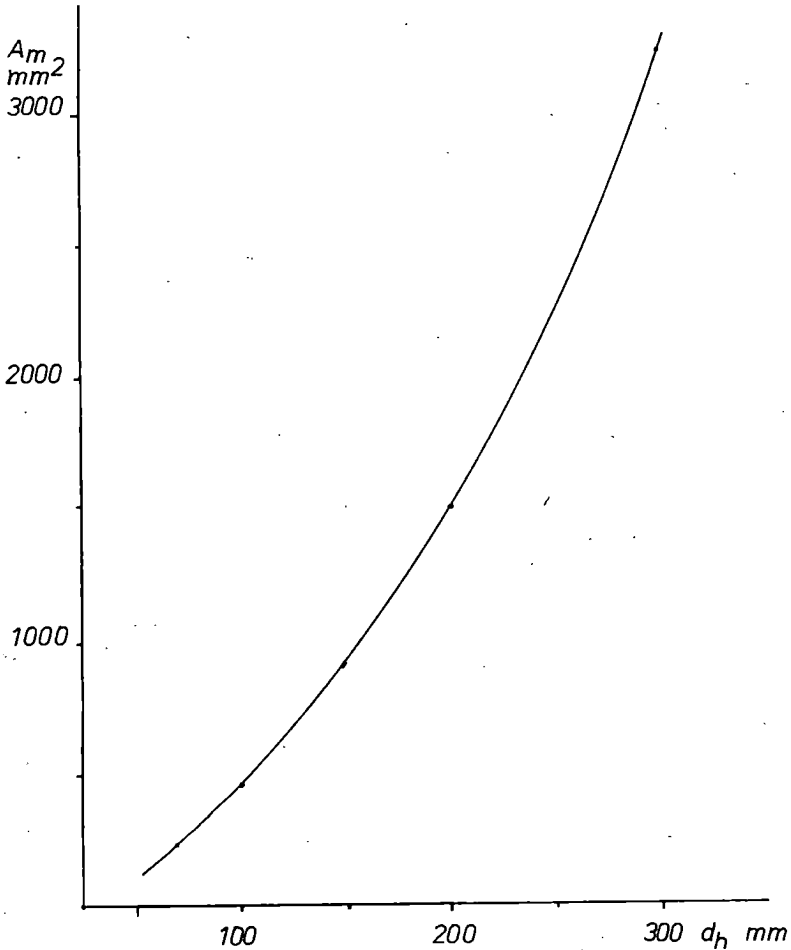
- suutin- ja tulipesärengastason välinen etäisyys  $h_m$   
Kuvassa 2.7 on esitetty suhteen  $h_m/d_h$  riippuvuus tulipesärenkaan läpimitasta.

- Tulipesärengas- ja arinatason välinen etäisyys  $h_r$   
Tämä mitta määritetään lausekkeella:

$$h_r = 1,6 h_m$$

- Arina

Hakekäyttöisessä kehittimessä arina tehdään liikkuvaksi. Noin 20 mm edestakainen liike on sopiva. Liikuttelu voidaan järjestää esimerkiksi sähkömoottorin avulla. Moottorin toimintaa ohjaa alipainekytkin. Kun paine kaasuputkessa laskee alle tietyn rajan, kytkin käynnistää moottorin.

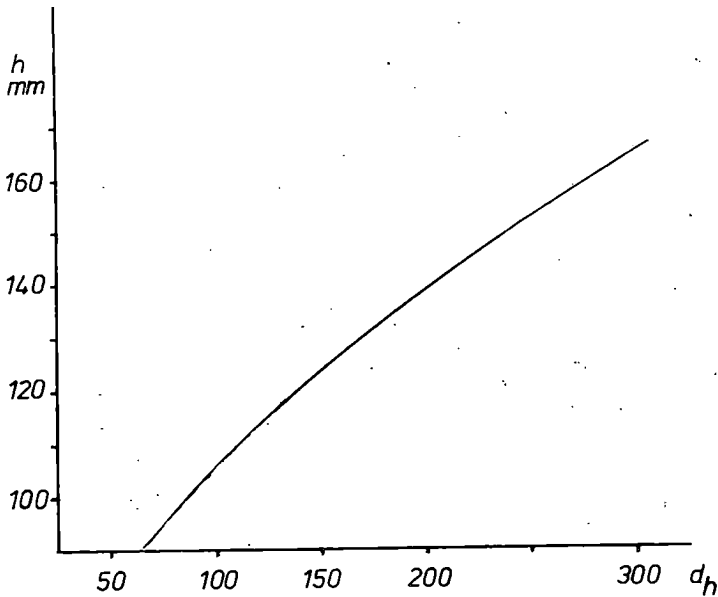


Kuva 2.6. Suutinpinta-alan riippuvuus tulipesärenkaan läpimitasta  $d_h$

Pelkistyshiilikerros puhdistuu arinan liikkeen vaikutuksesta, jolloin paine nousee ja sähkömoottori pysähtyy (kuva 2.1).

- Syöttösuppilo

Sopiva kartiokulma syöttösuppilolle on  $60^\circ$  käytettäessä haketta polttoaineena. Syöttösuppilon alapään läpimitta tulee olla n.  $2/3$  mitasta  $d_r$ . Suppilon alapään etäisyydeksi suutintasosta mitoitetaan n. 250 mm. Mikäli polttoaineen kiinnipalamista suppiloon tapahtuu, tulee tämä mitta muuttua suuremmaksi. Jos polttoaineena käytetään



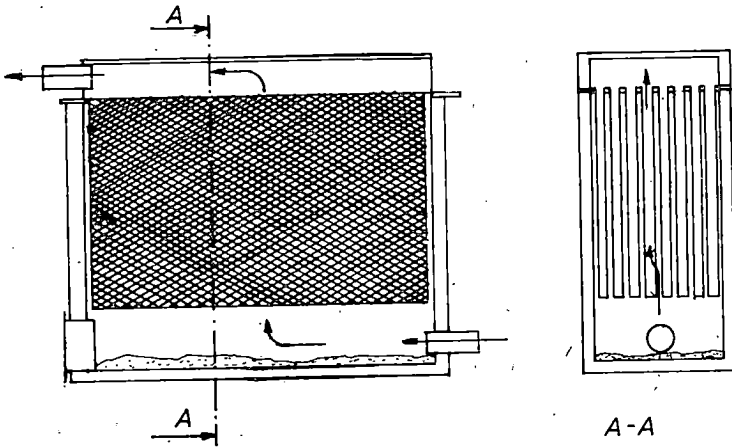
Kuva 2.7 Suhteen  $h/d_h$  riippuvuus tulipesärenkaan läpimitasta  $d_h$

pilkkeitä, ei syöttösuppiloa tarvita, vaan polttoainesäiliöön tehdään reikälevystä sisävaippa n. 10 mm etäisyydelle ulkovaipan seinämästä.

#### 2.4 Suodatin

Kaasu sisältäjä kehittäimestä tullessan tuhkaa ja nokea, jotka moottoriin päästessään aiheuttaisivat kulumista, moottorin likaantumista ja käyntihäiriöitä. Nämä epäpuhtaudet poistetaan kaasusta suodattimessa (kuva 2.8). Suodatinmateriaalina käytetään lasikuitukanqasta, joka on laskostettu tukikehikon päälle. Kun suodatinkankaan pinta-ala on riittävän suuri, suodatin puhdistuu itsestään käytön aikana. Toisin sanoen suodattimeen keräytynyt noki varisee käytön aikana syntyvän tärinän vaikutuksesta suodatinkotelon pohjalle. Suodatin tarvitsee tarkempaa puhdistusta 100...200 käyttötunnin välein.

Lasikuitukanqassuodattimella saavutetaan 99,9 % puhdistusaste.



Kuva 2.8 Kaasun suodatin

Suodatinkotelo on varustettu lämpöeristeellä ettei kaasun lämpötila laske liiaksi ennen suodatusta. Lämpötilan laskusta olisi seurauksena veden tiivistyminen suodatinkankaisiin, ja niiden tukkeutuminen.

#### 2.4.1 Suodattimen mitoitus

Suodatinkankaan pinta-ala määrätään lausekkeella:

$$A_s = \dot{V}_g / B_s$$

missä  $A_s$  = suodatinkankaan pinta-ala  
 $\dot{V}_g$  = moottorin kaasun kulutus  
 $B_s$  = suodatinkuormitus

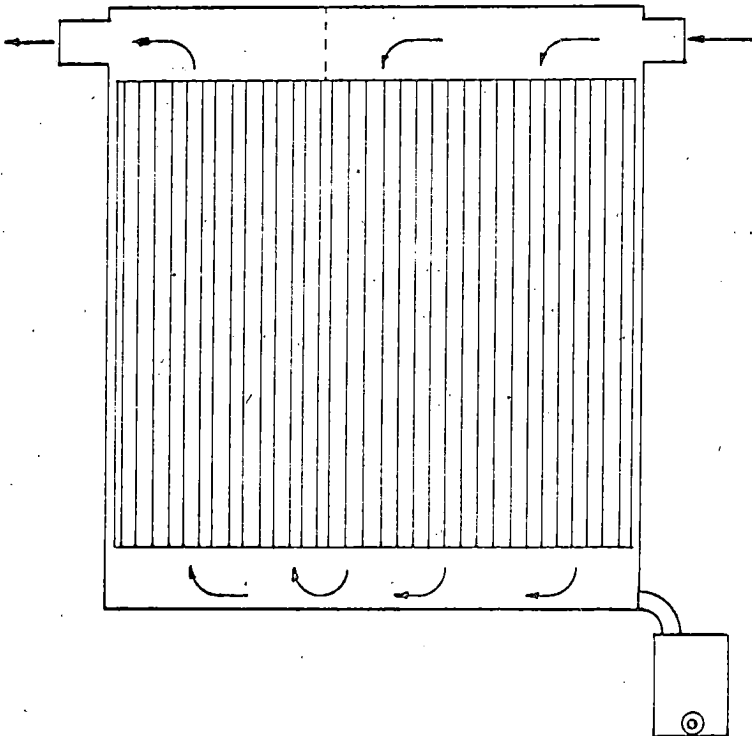
Sopiva suodatinkuormituksen arvo on  $6 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^3/\text{sm}^2$  jolloin suodattimen virtausvastus on luokkaa 300 mmVP.



## 2.5 Jäähdytin

Kaasun lämpötila on suodattimesta tullessa 150...250 °C. Lämpötila on saatava tästä mahdollisimman alas, jotta moottorin täytössuhde ja myös teho saataisiin mahdollisimman hyväksi.

Jäähdyttimenä käytetään ripaputkesta valmistettua kennoa (kuva2.9). Koska kaasussa ei ole epäpuhtauksia, voidaan jäähdyttimessä käyttää suhteellisen pieniläpimittaisia putkia. Näin saadaan jäähdyttimen mitat pieniksi. On eduksi, jos laite voidaan sijoittaa moottorin vedenjäähdyttimen eteen. Kaasun jäähdytys toimii silloin tehokkaasti myös moottoria paikoillaan käytettäessä.



Kuva 2.9 Kaasun jäähdytin

Jäähdyttävä ulkopinta-ala määritetään likimäärin lausekkeella

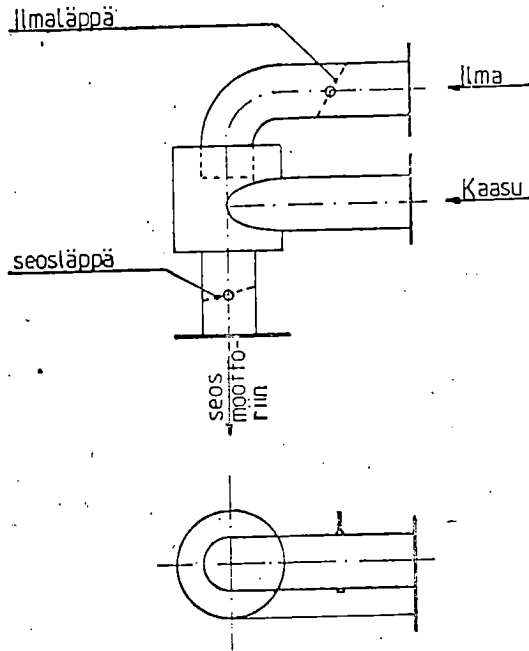
$$A_j = 200 \dot{V}_g.$$

( $\dot{V}_g$  = moottorin kaasun kulutus)

Putkien määrä valitaan sellaiseksi, että putkien yhteenlaskettu virtauspoikkipinta-ala tulee yhtä suureksi kuin kaasuputkiston poikkipinta-ala.

Jäähdytін varustetaan kondenssisäiliöllä, johon kerääntyy kaasua jäähdytettäessä tiivistyvää vesi.

Sopiva säiliön tilavuus on n. 10 l.



Kuva 2.10 Kaasun sekoitin

## 2.6 Sekoitin

Sekoittimessa kaasuun sekoitetaan ilmaa suhteessa 1:1, jolloin muodostuu palamiskelpoinen seos. Seossuhde säädetään ilmaputkessa olevalla läpällä toisioilman virtausta säääten. Syntynyt kaasu-ilmaseos johdetaan moottoriin (kuva 2.10).

## 2.7 Kaasuputkisto

Kaasuputket valmistetaan riittävän suuriläpimittaisesta putkesta. Putkistoa muotoillessa pyritään putket saamaan mahdollisimman lyhyiksi. Turhia mutkia on vältettävä.

Putken läpimitta voidaan määrittää lausekkeella:

$$dp = \sqrt{\frac{4 Vg}{\pi v}}$$

missä  $dp$  = putken läpimitta (m)  
 $Vg$  = moottorin kaasun kulutus  $Nm^3/s$   
 $v$  = kaasun virtausnopeus putkessa m/s

Sopiva virtausnopeus kaasulle on n. 5,5 m/s.

## 2.8 Laitteiston asennus ajoneuvoihin

Asennus eri ajoneuvotyyppeihin ja merkkeihin vaatii yksilöllisen ratkaisun jokaiselle ajoneuvomallille.

Eräitä suuntaviivoja asennustavalle voidaan antaa.

- Kuorma-autoissa laitteisto asennetaan ohjaamon taakse. Asennustapa vie osan kuormatilasta, samoin polttoainevarasto. Osa polttoaineesta voidaan varastoida ohjaamon katolle.
- Henkilöautoissa laitteisto asennetaan erilliseen perävaunuun, samoin polttoainevarasto. Näin säilytetään auton kantavuus lähes ennallaan ja autoa voidaan käyttää normaalisti milloin nestemäisiä polttoaineita on saatavana.
- Traktoreissa kaasunkehitin asennetaan koneen vasempaan kylkeen. Suodatin asennetaan vasemmalle sivulle tai eteen. Jäähdytin asennetaan välittömästi vedenjäähdyttimen eteen,

mikäli se on mahdollista, näin taataan kaasun jäähtytys myös konetta paikoillaan käytettäessä.

### 3. ERITYYPPISTEN MOOTTORIEIN VARUSTAMINEN PUUKAASUKÄYTTÖÖN SOVELTUVIKSI

Otto- ja dieselmoottorien vaatimat muutostyöt siirryttäessä puukaasukäyttöön poikkeavat toisistaan lähinnä töiden laajuuden suhteen. Samoin moottorista puukaasulla saatavat tehot verrattuna ennen muutosta saatuun tehoon poikkeavat toisistaan.

#### 3.1 Ottomoottorit

Moottoriin tehtävät muutostyöt ovat varsinkin yksinkertaiset ja helposti suoritettavissa.

Moottorin imusarjaan asennetaan sekoitin ja mahdollinen apukaasutin, joka mahdollistaa moottorin käytön myös nestemäisellä polttoaineella.

Lisäksi moottorin sytytysennako säädetään aikaisemmalle. Kaasuseoksen palamisnopeus on alhaisempi kuin bensiini-ilma-seoksen. Käytettäessä puukaasua polttoaineena paras moottoriteho saadaan 10 - 20<sup>o</sup> suuremmalla sytytysennakon arvolla kuin nestemäistä polttoainetta käytettäessä. Mikäli moottorin puristussuhde on alhainen voi olla syytä korottaa sitä arvoon 1:9. Ottomoottorista puukaasulla saatava teho on noin 50 % nestemäisillä polttoaineilla saatavasta tehosta.

#### 3.2 Dieselmoottorit

Dieselmoottorin muuttamisessa puukaasukäyttöiseksi on valittavissa kaksi tapaa:

- Moottori muutetaan pelkästään puukaasulla käyväksi
- Moottori muutetaan käyväksi ns. dieselkaasuperiaatteella, jolloin moottori kuluttaa kaasun lisäksi dieselpolttonestettä 20...25 % normaalikulutuksesta.

Moottorin rakennetyyppi aiheuttaa myös eroja muutostapaan.

Suoraruiskutusdiesel on helposti muutettavissa dieselkaasukäyttöiseksi.

Esikammio- ja pyörrekammiotyyppiset moottorit soveltuvat huonosti dieselkaasukäyttöön, niiden vaatimat muutostyöt ovat niin suuret, että mikäli tähän ryhdytään on paras muuttaa moottori pelkästään kaasulla käyväksi.

Turboahtimen käyttöön puukaasun yhteydessä liittyvät vaikeudet ovat osittain ratkaisematta. Nykyisellään turboahdin on poistettava muutostöiden yhteydessä.

### 3.2.1 Moottorin muuttaminen pelkästään kaasulla käyväksi

Muutostyöt ovat laajat. Moottori on purettava ja määrättyt osat vaihdettava. Puristussuhde alennetaan arvoon 1:10 ja ruiskutusumpun sijaan asennetaan kipinäsytytyslaitteisto.

Lisäksi sylinterin kanteen on järjestettävä tila sytytystulpille, esimerkiksi ruiskutusventtiilien tilalle.

Moottorista saatava teho on n. 50 % sen dieselinä antamasta tehosta.

### 3.2.2 Moottorin muuttaminen dieselkaasuperiaatteella toimivaksi

Dieselkaasukäytössä sylinteriin imetty kaasun ja ilman seos sytytetään sylinteriin ruiskutettavalla pienellä sytytyspolttonesteannoksella. Moottorin dieselpolttonesteen kulutus on tällöin n. 20...25 % normaalista kulutuksesta.

Näin muutettavaksi sopivat lähinnä suoraruiskutusdieselit, joita suurin osa hyötyajoneuvojen moottoreista on. Muutostyöt eivät vaadi puuttumista moottorin sisäiseen rakenteeseen.

Tärkeimmät muutokset ovat ruiskutusennakon säätö kaasulle sopivaksi, ruiskutusannoksen pienentäminen noin puoleen tyhjäkäyntiannoksesta, sekä sekoittimen asentaminen moottorin imusarjaan. Puristussuhdetta ei tarvitse muuttaa mikäli se on alle 16:1. Jos puristussuhde on yli 16:1, voi moottori

kuormitettaessa alkaa nakuttaa. Nakutusherkyys riippuu moottorin rakenteesta, lähinnä jäähdytyksen tehokkuudesta ja palotilan muodosta. Moottorin nakutusominaisuudet voidaan selvittää koekäytöllä. Jos nakutusta ilmenee alennetaan puristussuhde arvoon 16:1.

Dieselkaasuperiaatteella saadaan moottorista 70...80 % sen dieselöljyllä antamasta tehosta. Lisäksi on huomattava, että moottorin koko tehoreservi on tarpeen tullen käytettävissä. Polttonesteannosta lisäämällä saadaan moottorista tarvittaessa sama teho kuin dieselinä. Tällöin saavutettava polttonesteen säästö jää kuitenkin vaatimattomaksi.

Esimerkkinä dieselkaasukäyttöisten moottorien polttoaineen kulutuksesta voidaan mainita:

- Kuorma-auto, suoraruiskutusmoottori syl. tilav. 10 l  
maantieajoa 50 km/h keskinopeudella, kuorma 6000 kg  
Polttoaineen kulutus:

500 l havupuuhaketta/100 km  
8 l dieselöljyä/100 km

- Traktori, suoraruiskutusdiesel syl. tilav. 4 l  
ajo keskiraskasta maataloustyötä  
Polttoaineen kulutus:

150 l koivuhaketta/h  
2 l dieselöljyä/h

Sytytyspolttonesteena voidaan käyttää dieselöljyn sijasta kasviöljyä (esimerkiksi rypsiöljyä), mikäli dieselöljyä ei ole saatavana. Kasviöljyt on esilämmitettävä ennen ruiskutuspumppuun syöttämistä niiden korkean viskositeetin takia.

#### 4. TALOUDELLISET NÄKÖKOHDAT

##### 4.1 Puukaasulaitteiston valmistus

###### Materialit

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 kg
10 mm ruostumatonta teräslevyä	10 "
Alumiiniripaputkea	15 "
Suodatinkangasta	4,5 m <sup>2</sup>
Verkkolevyä 3...10 mm silmä	10 kg
Käynnistystuuletin	
Arinamoottori	
Alipainekeytkin	

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 merkkikirjavuudelta, joka 40-luvulla vaikeutti laitteistojen käyttöä ja huoltoa. Parempi olisi, että "standardikaasuttimen" piirustukset olisivat vapaasti kaikkien asiasta kiinnostuneiden käytettävissä.

#### 4.2 Polttoaineen hankinta

Pääasiallisena polttoaineena puukaasuttimissa käytetään lehti- tai havupuuhaketta. Eräissä erikoistapauksissa, esimerkiksi kun polttoaine valmistetaan itse maatilalla, voidaan polttoaineena käyttää 5 x 5 x 5 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. Lisäksi hakkeesta on seulottava pois keskimääräistä raekokoa huomattavasti pienemmät ja suuremmat palat, mikäli hake ei ole tasalaatuisia.

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

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

haketta	9 milj. m <sup>3</sup>
dieselpolttonestettä	105 000 m <sup>3</sup>

Vain dieselkäyttöisenä kuluisi dieselpolttonestettä 525 000 m<sup>3</sup>.

Traktoria kohden laskettuna vuotuinen hakkeen tarve olisi n. 90 m<sup>3</sup>/traktori.

#### 4.3 Käyttökustannukset

Seuraavassa 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 muuttumista siirryttäessä puukaasukäyttöön.

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

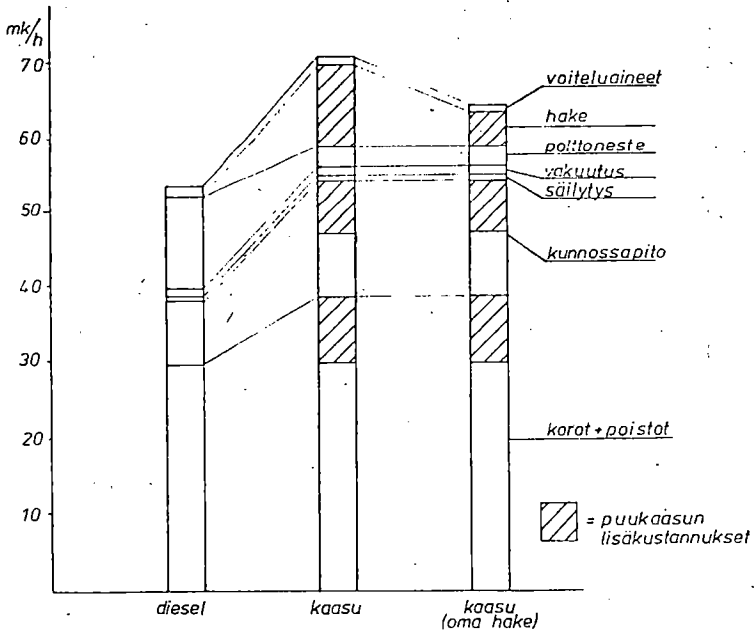
Puukaasulaitteisto

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

Hakkeen hinta	57,00 mk/m <sup>3</sup>
Polttoöljyn hinta	109,81 p/l

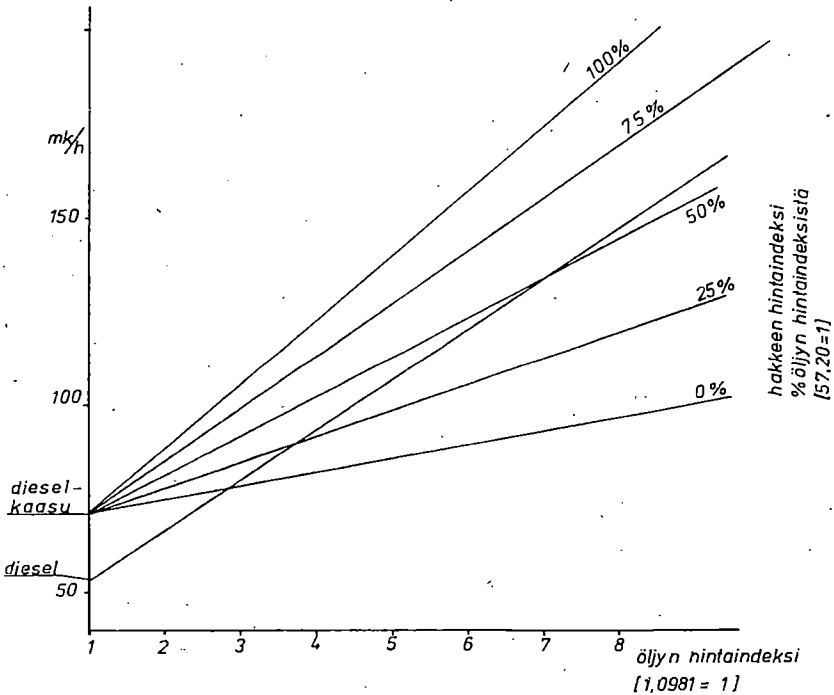
Käyttökustannukset:

dieselkäyttö	53,06 mk/h
dieselkaasukäyttö	70,82 mk/h
(kuva 4.1)	



Kuva 4.1 Traktorin käyttökustannukset eri polttoaineilla (hinnat 1.3.1980 tasolla)

Kuvassa 4.2 on esitetty diesel- ja dieselkaasukäyttökustannusten vertailu öljynhinnan noustessa. Dieselkaasukustannukset on esitetty erilaisilla hakkeen hintakehityksillä. Mikäli hakkeen hinta pysyy muuttumattomana öljyn hinnan noustessa, tarvitaan öljyn hinnannousu n. 3-kertaiseksi nykyisestä, jotta puukaasukäyttö olisi taloudellisesti kannattavaa. Mikäli hakkeen hintaindeksi nousunopeus on 50 % öljyn hintaindeksi noususta, tarvitaan jo 7 kertainen öljyn hinta nykyiseen verrattuna, jotta puukaasukäyttö olisi taloudellisesti kannattavaa.



Kuva 4.2

Yllä esitettyssä laskelmassa on oletettu hake hankittavaksi vapailta markkinoilta. Mikäli hake hankitaan esim. omasta metsästä, tulevat kustannukset tältä osin pienemmiksi. (Kuva 4.1).

## 5. TURVALISUUSKYSYMYKSET

Puukaasukäytön turvallisuusriskit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Tulipalon vaara
- Myrkytysvaara
- Laitteiston aiheuttama ajoneuvon käytön vaikeutuminen

### 5.1 Tulipalon vaara

Tulipalon vaara johtuu seuraavista tekijöistä:

- Kaasun kehittäimestä saattaa päästä karkuun kipinöitä huoltotöiden yhteydessä
- Kehittimen kantta avattaessa puusäiliössä oleva kaasu palaa hulmahtaen
- Käynnistysvaiheessa kaasu poltetaan poistoputken suulla
- Kehittimen ulkopinnan lämpötila on korkea.

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

### 5.2 Myrkytysvaara

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

Hengenvaarallinen myrkytys voi syntyä kahdella tavalla. Akuutti myrkytys syntyy kun hengitetään kehittäimestä esi-merkiksi kannen avaamisen jälkeen purkautuvaa kaasua. Jo muutama syvä hengitys riittää aiheuttamaan tajuttomuuden. Myrkytys voi syntyä myös siten, että ilman hiilimonoksidi-pitoisuus on varsin alhainen, mutta tätä ilmaa hengitetään

pitkään. Tällöin hiilimonoksidi aiheuttaa ensin väsymystä ja myöhemmin, altistuksen jatkuessa tajuttomuuden ja kuoleman. Jo 0,1 % pitoisuus hengitysilmassa on vaarallinen. Työturvallisuusmääräysten mukaan suurin sallittu CO-pitoisuus ilmassa on 0,01 %/8 h.

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.

### 5.3 Ajoneuvon käytön vaikeutuminen

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

Puukaasulaitteet ovat varsin isokokoisia ja niiden asennus heikentää usein näkyvyyttä.

Puukaasulla ajettaessa ajoneuvon suorituskyky on heikempi 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 puukaasujoneuvon kuljettajan tulisi ymmärtää laitteiston toimintatavat ja sen käyttöön liittyvät vaarat.

## 6. VAKOLAN PUUKAASUTUTKIMUS

Vakolassa on rakennettu edellä kuvattuja periaatteita noudattaen koelaitteisto. Laitteet on asennettu VALMET 702-traktoriin.

Laitteiden ulkonäkö ja asennustapa traktoriin nähdään kuvissa 6.1 ja 6.2



Kuva 6.1 VAKOLA:n puukaasutraktori



Kuva 6.2

Kokeiden tarkoituksena on ollut saattaa suunniteltu laitteisto, aluksi kehitintä lukuunottamatta, käyttökuntoon. Kaasunkehittimenä käytettiin aluksi hyvin toimivaksi tunnettua pilkekäyttöistä kaasutinta. Näin eliminoitiin kehitimestä johtuvat käyntihäiriöt ja voitiin keskittyä suodatimen, jäähdyttimen, sekoittimen sekä moottoriin tehtyjen muutosten kokeiluun. Kun laitteiston toiminta näiltä osin saatiin kuntoon asennettiin pilkekäyttöisen kehittimen tilalle VAKOLAssa suunniteltu hakekäyttöinen kaasunkehitin. Koetulosten ja niiden perusteella tehtyjen parannusten kautta on laitteisto mukailtu sellaiseksi, että se toimii tyydyttävästi.

Lisäksi on kokeilla pyritty selvittämään miten hyvin kirjallisuudesta saatu tieto, joka on ollut laitteiston suunnittelun perustana, pitää yhtä käytännön kanssa.

Seuraavassa on esitetty laitteiston eri komponenttien käyttökokeissa esiin tulleita asioita.

## 6.1 Polttoaine

Pilkekehittimessä käytettiin polttoaineena 5 x 5 x 5 cm pilkkeitä, joiden kosteuspitoisuus on n. 10 %.

Hakekäyttöisessä kehittimessä käytetään polttoaineena 10 % kosteuteen kuivattua haketta, josta hienojakoisin osa on seulottu pois 10 x 10 mm seulalla. Polttoaineena on kehiteltä myös kosteampaa, noin 25 % vettä sisältävää haketta. Kostealla hakkeella kaasun lämpöarvo ja moottoriteho on 10 % alempi. Lisäksi on kehiteltä KOPO-palahakkurilla tehtyä haketta. Karkeajakoisen palahake saa olla 20 % kosteutta sisältävää moottoritehon siitä kärsimättä.

Karkeajakoisen polttoaineen syöttö tulipesään tapahtuu epätasaisesti. Paikoillaan käytettäessä moottoriteho vaihtelee tämän takia 15 % rajoissa. Ajossa syntyvä tärinä poistaa haitan.

## 6.2 Kaasun kehitin

Kehittimenä on näissä kokeissa aluksi käytetty pilkekäyttöistä kehitintä AKMO 520 KIV, jonka tulipesärenkaan läpi-

mitta on 95 mm. Saatava kaasua on tasalaatuista eikä käyttöhäiriöitä ilmene mikäli traktorilla ajetaan. Paikoillaan käytössä syntyvä värinä on riittämätöntä ja kehittämeen muodostuu n. 30 min. käytön jälkeen holvi. Kehittintä kokeiltiin myös havupuupilkkeellä. Saatu teho oli tällöin n. 20 % huonompi ja polttoaine holvautui herkemmin. Lisäksi ajettiin yksi päivä VAPO:n turvebriketeillä. Turpeesta saatiin käyttökelpoista kaasua, runsas tuhka aiheutti kuitenkin kehittämeen imuvastuksen nousun ja siten saatu moottoriteho oli heikompi kuin puuta polttoaineena käytettäessä.

Kehittämeen sytytyksessä kokeiltiin CAV Thermostart-kylmäkäynnistyslaitetta: Laite oli sijoitettu kehittämeen ensiöilmaputkeen. Kehitin syttyi laitteella helposti, noin yhden minuutin käyttö oli riittävä. Ensiöilma-aukkoa oli kuristettava n. 75 % (hehkutuksen ajaksi), jotta saataisiin riittävän suuri liekki. Syttymisen jälkeen oli tarpeen noin 4-6 minuutin imu käynnistystuulettimella ennenkuin kaasua oli ajoon valmista. Kokonaisuudessaan AKMO-kehittämeen käynnistys, kylmästä ajoon, kestää 10 - 15 minuuttia.

Moottori käynnistetään dieselinä ja valmis kaasua imetään moottoriin. Kun moottori saa kaasua, pienennetään polttonesteannos kaasukäyttöön sopivaksi (9 mm<sup>3</sup>/annos). Nyt moottori käy kaasulla ja on valmis ajoon.

Myöhemmin asennettu hakekäyttöinen kehitin toimii moitteettomasti myös traktorilla paikoillaan käytettäessä. Tämän kehittämeen aiheuttama imuvastus on pienempi kuin AKMO:lla ja sen tuottaman kaasun lämpöarvo on ilmeisesti parempi. Nämä tekijät saavat aikaan sen, että hakekäyttöisellä kehittimellä varustettuna traktorista saadaan n. 20 % parempi moottoriteho, pilkkekehittimellä saatuun tehoon verrattuna.

Haketta polttoaineena käytettäessä on kehittämeen tulipesän mittojen oltava tarkalleen sopivat. Liian suuri tulipesärengas aiheuttaa osakuormilla tervan kulkeutumista moottoriin kaasun mukana.

Arinan liikutusmekanismi on tarpeellinen. Ilman liikuttelua kehitin "tukkeentuu" n. 5 minuutin kuluessa. Kun arina

käynnistetään, imuvastus laskee normaalitasolle nopeasti.

Kehittimen polttoainesäiliön tilavuus on n. 250 l. Säiliöön mahtuu kerrallaan 50 kg haketta, joka riittää keskiraskaassa maataloustyössä 2,5 tunnin ajoon.

Säiliön koko haittaa näkyvyyttä etuvasemmalle. Pienentämällä säiliötä näkyvyys paranisi, samalla tehollinen työaika kuitenkin lyhenisi.

Käytön aikana kertyy kehittimen ja jäähdyttimen säiliöihin puun sisältämää vettä. 50 kg puuerästä saadaan noin 5 l vettä.

Hakekehittimen käynnistysprosessiin kuluu aikaa 15...20 min. Kun kehitin on sytytetty, tuli säilyy kehittimessä, moottorin pysäytettynä ollessakin, noin 3 tuntia. Liikkeellelähtöön ei tällöin tarvita kuin muutaman minuutin imu tuulettimella ennen käynnistystä.

### 6.3 Kaasun suodatin

Suodattimena käytetään lasikuitukangasta, joka on asennettu tukikehikolle. Kankaan pinta-ala on  $4,2 \text{ m}^2$ , mikä vastaa edellä kohdassa 2.4.1 annettua mitoitussuositusta. Alkujaan suodatinkankaan pinta-ala oli  $1,4 \text{ m}^2$ . Tämänsuuruinen pinta-ala osoittautui kuitenkin riittämättömäksi. Suodatin oli puhdistettava n. 10 käyttötunnin välein, koska suodattimen likaantumisen johtuva paineenalennus tuli liian suureksi.

Nyt käytössä oleva suodatin toimii tyydyttävästi. Suodattinkankaat puhdistuvat ajon aikana syntyvän tärinän vaikutuksesta. Noki irtoaa kankaista levymäisinä palasina kun nokikerros on saavuttanut 2...3 mm paksuuden.

Suodatinkotelo on lämpöeristetty 25 mm mineraalivillalla. Kotelon alaosa on muotoiltu syklönityyppiseksi karkeapuhdistimeksi, jolla poistetaan kaasusta sen mukana mahdollisesti kulkevat hehkuvat hiilipartikkelit.

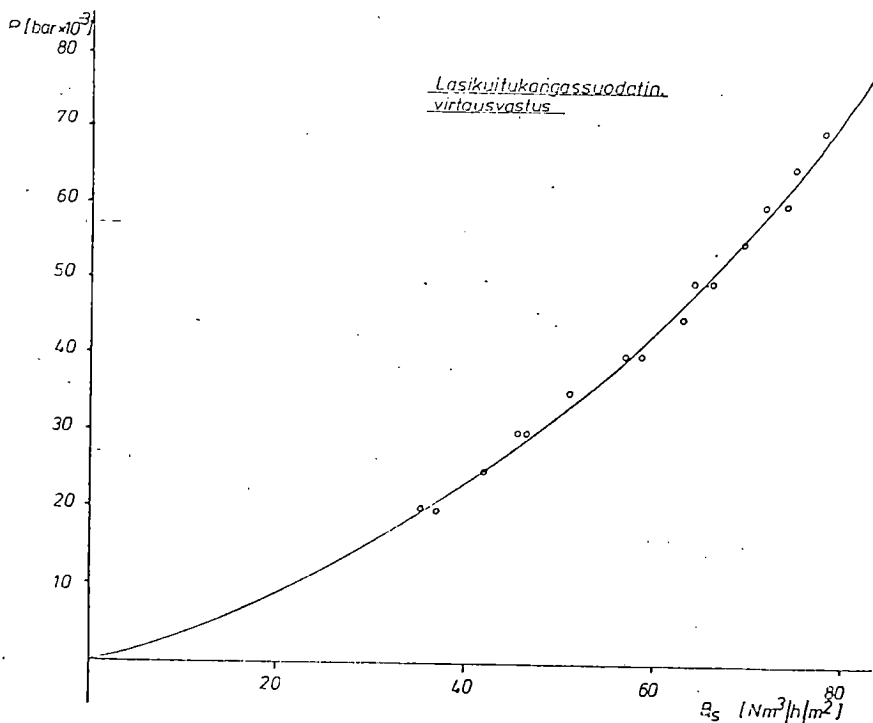
Lämpöeristys suodatinkotelossa on tarpeen myös kesällä. Ilman eristettä suodatin tukkeutuu hyvin nopeasti kun



kaasun mukana kulkeva vesihöyry tiivistyy kankaisiin. Syklonipuhdistin on osoittautunut toimivaksi. 8 h ajon aikana puhdistimeen keräytyy n.  $0,5 \text{ dm}^3$   $\varnothing$  2 mm raekokoista hiiltä, joka on tullut kaasun mukana kehittimestä.

Kylmissä ajo-olosuhteissa ( $-10^\circ$ ), jolloin hiilen muodostus kehittimessä oli epätavallisen runsasta, kertyi syklonipuhdistimeen runsaasti  $\varnothing$  5...10 mm hiiltä, joka suodatinkankaisiin joutuneena olisi todennäköisesti polttanut ne puhki. Suodattimen ylemmissä osissa ei hiilipartikkeleja kuitenkaan näkynyt ja kankaat olivat säilyneet vaurioitumattomina. Tehojarrussa suoritettuna tehonmittausajon aikana nousi suodatimeen tulevan kaasun lämpötila arvoon  $400^\circ\text{C}$ . Kankaissa ei näkynyt ajon jälkeen korkean lämpötilan aiheuttamia vaurioita.

Kuvassa 6.3 on esitetty kaasun suodattimen virtausvastus suodatinkuormituksen funktiona. Kuvaa voidaan käyttää suodattimen mitoituksen lähtökohtana, kun otetaan huomioon kaasun korkeammasta lämpötilasta johtuva tilavuusvirran kasvu.



Kuva 6.3

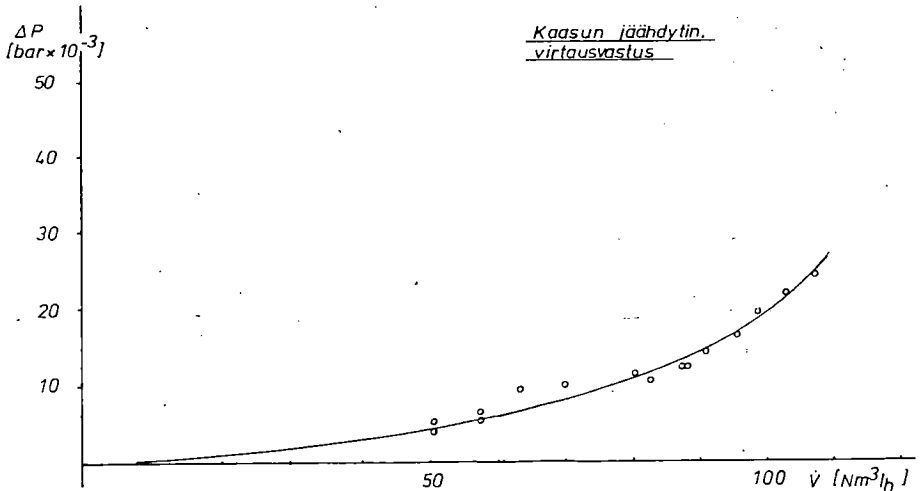
Kokeissa käytetty suodatin on piirustuksen 79.2.1 mukainen. Piirustuksessa 80.2.01 on esitetty vaihtoehtoinen ratkaisu suodatinkotelon muodoksi. Jälkimmäinen on helpommin sijoitettavissa traktoriin.

#### 6.4 Jäähdytin

Koelaitteistoa varten on valmistettu alumiiniripaputkilla varustettu jäähdytin. Jäähdytinputkiston sisäpinta-ala on  $0,75 \text{ m}^2$  ja ulkopinta-ala  $5 \text{ m}^2$ . Kaasun normaalivirtausnopeus jäähdytinputkissa on  $20 \text{ m/s}$  täydellä kuormituksella ( $80 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ).

Jäähdytin on asennettu välittömästi moottorin vedenjäähdyttimen eteen. Näin tuulettimen ilmavirta kulkee myös kaasunjäähdyttimen lävitse.

Jäähdytinkonstruktio on osoittautunut onnistuneeksi. Täydellä kuormalla paikoillaan moottoria käytettäessä on jäähdyttiin tulevan kaasun lämpötila luokkaa  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ulos tulevan kaasun lämpötila on tällöin  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , kun ulkoilman lämpötila on  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jäähdytin aiheuttaa täydellä kuormituksella  $150 \text{ mmH}_2\text{O}$  painehäviön. Tätä arvoa on pidettävä varsin kohtuullisena.



Kuva 6.4

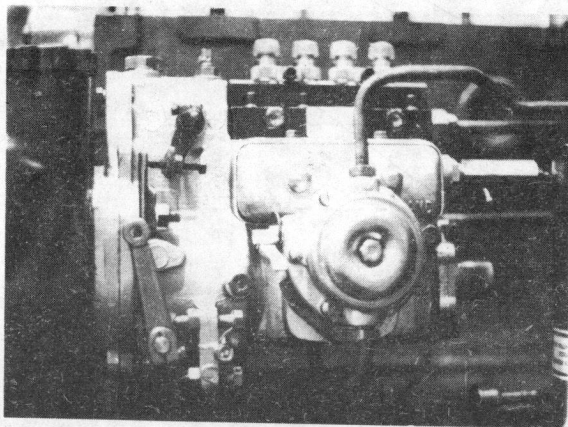
Jäähdyttimen sijoitus moottorin vedenjäähdyttimen eteen ei ole aiheuttanut havaittavia muutoksia moottorin jäähdytykseen. Sijoituksen ansiosta kaasu jäähtyy tehokkaasti myös moottoria paikoillaan käytettäessä.

Jäähdyttimen sijoitus laitteistossa kaasun suodattimen jälkeen on puolestaan tehnyt mahdollisesti pieniläpimittaisen alumiiniripaputken käyttämisen jäähdytinputkena. Näin on jäähdyttimen ulkomitat saatu, aiemmin käytettyihin rakenteisiin verrattuna, huomattavasti pienemmiksi. Samalla jäähdytysteho on kuitenkin parantunut.

#### 6.5 Kaasun sekoitin ja moottorin tehonsäätö

Sekoitin on käsisäätöinen. Laite toimii tällaisena täysin tyydyttävästi. Dieselmoottori sietää seossuhteen muutokset, jotka johtuvat kehittimen toiminnassa tapahtuvista muutoksista, tehon siitä huomattavasti kärsimättä. Käytännössä selvittää käsisäädöllä hyvin ellei tehtävä vaadi jatkuvasti huipputehoa. Tällöin on seossäätöä tarkistettava lyhyin väliajoin.

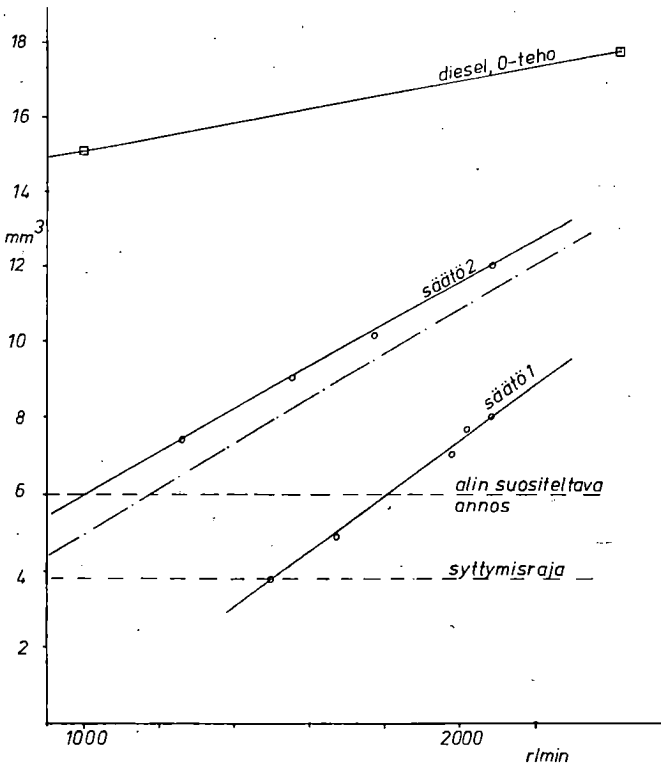
Tehonsäätö tapahtuu seosputkessa olevan kuristusläpän avulla. Läppää säädetään keskipakosäätimen välityksellä. Keskipakosäädin saa käyttövoimansa kampiakselilta. Säädin auttaa pitämään moottorin pyörimisnopeuden vakiona kuorman muutoksista riippumatta ja estää ryntäämisen.



Kuva 6.5

### 6.6 Polttonestejärjestelmä

Sytytyspolttonesteannos on rajoitettu halutun suuruiseksi. (9 mm<sup>3</sup>/200 r/min) ruiskutuspumpun pysäytinvipuun asennetulla säätöruuvilla, joka rajoittaa vivun liikkeen 0-syöttöä kohti Kuva 6.5). Dieselkaasuasennossa vipu on painettu säätöruuvia vasten. Samalla on pumpun tehonsäätövipu vedetty "täysillä"-asentoon. Näin ei pumpun keskipakosäädin pääse vaikuttamaan pumpun antamaan ruiskutusannokseen. Ruiskutusannos muuttuu tästä huolimatta pyörimisnopeuden mukaan, pumpun rakenteellisista ominaisuuksista johtuen. Kuvassa 6.6 on esitetty mitattu keskimääräinen ruiskutusannos pyörimisnopeuden funktiona kahdella eri säätöruuvien 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.



Kuva 6.6

Syttymisrajan lisäksi kuvaan on merkitty alin suositeltava ruiskutusannos. Tämän alapuolella suutintèn jäähdytys huippu-teholla jää heikoksi ja on olemassa vaara, että suuttimet pikeytyvät umpeen.

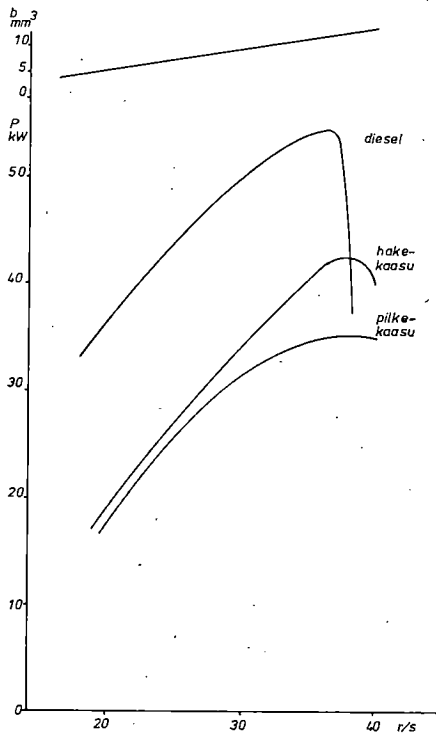
Koska tavoitteena on ollut mahdollisimman pienin muutoksin soveltaa dieselmoottori käymään puukaasulla, ei ruiskutus-pumpun sisäiseen rakenteeseen ole kajottu, vaan on tyydytty polttonesteannoksen muuttumisesta johtuvaan suurempaan polttonesteen kulutukseen. Dieselkaasukäyttöisenä moottori kuluttaa dieselpolttonestettä n. 2,7 l/h.

Ruiskutus-pumpun antaman polttonesteannoksen riippuvuus pyörimisnopeudesta voidaan selvittää koepenissä ajamalla. Pumpu on ajettava polttonesteputket ja suuttimet asennettuina, jotta saataisiin oikeat tulokset. Mittalaitteiden puuttuessa voidaan polttonesteannos säätää karkeasti lähelle oikeaa arvoa pienentämällä ruiskutusannosta säätöruuvilla, moottorin käydessä tyhjäkäyntiä, kunnes moottori pysähtyy. Tässä asennossa on 10...15 mm<sup>3</sup>/isku, josta sitä pienennetään vielä hieman.

#### 6.7. Moottorista saatu teho

Dieselkäyttöisenä moottorin maksimiteho oli 53 kW. Pilkekäyttöisestä kehittäimestä saatavalla puukaasulla teho on n. 66 % dieseltehosta (35 kW). Puukaasutehokäyrässä ei esiinny kuippua. Tämä viittaa siihen, että kaasun kehittimen tulipesärenkaan läpimitta on hieman liian suuri ja täydellä kuormalla saatavan kaasun lämpöarvo ei ole paras mahdollinen. Koska kehitin oli lainassa lähinnä muiden komponenttien koekilua varten, ei sen tulipesän mittoja ryhdytty muuttamaan.

Hakekehittimellä moottoriteho on kaasulla ajettaessa 41 kW. Tämä on 77 % moottorin dieseltehosta.



Kuva 6.7

## 6.8 Laitteiston huolto

Kehitinlaitteisto tarvitsee omat huoltotoimensa. Ennen ajoon lähtöä poistetaan kehittimestä arinan alle kerääntynyt hienojakoinen hiili. Samoin tyhjennetään suodatinkotelon pohjalle varissut noki.

Ajon jälkeen tyhjennetään vesisäiliöt.

200...300 tunnin välein poltetaan kaikki puu kehittimestä ja laitteen sisäosat tarkastetaan ja puhdistetaan. Samalla puhdistetaan suodatinkankaat esim. paineilmalla tai harjaamalla.

Määräaikaishuoltotyöt ovat varsin likaisia ja sen takia ikäviä suorittaa.

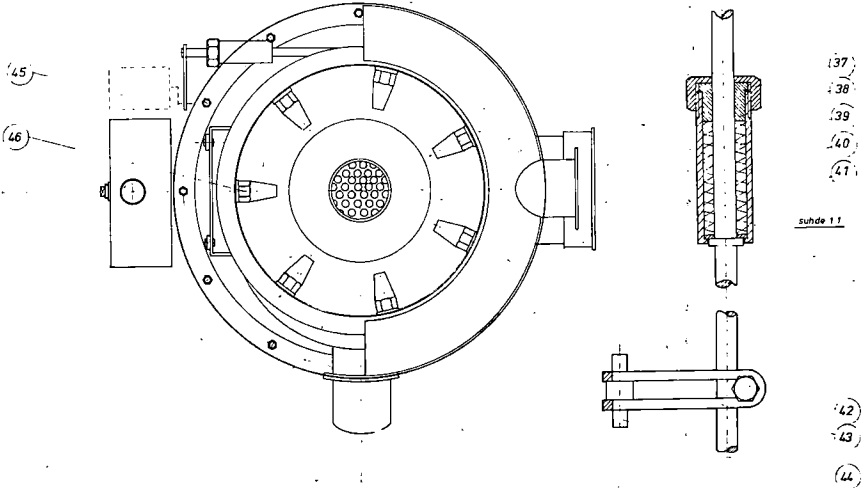
Traktori sopii kaasukäyttöisenä työntekoon lähes yhtä hyvin kuin dieselinä. Laitteiston rajoittama näkyvyys ja alentunut moottoriteho on kuitenkin otettava huomioon.

7. KOELAITTEISTON PIIRUSTUKSET

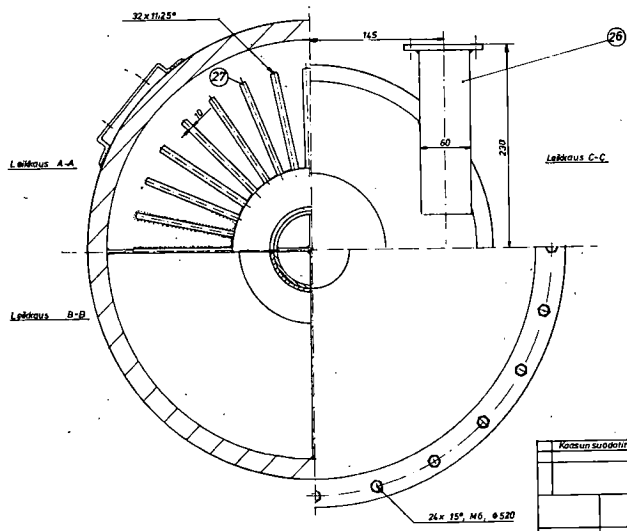
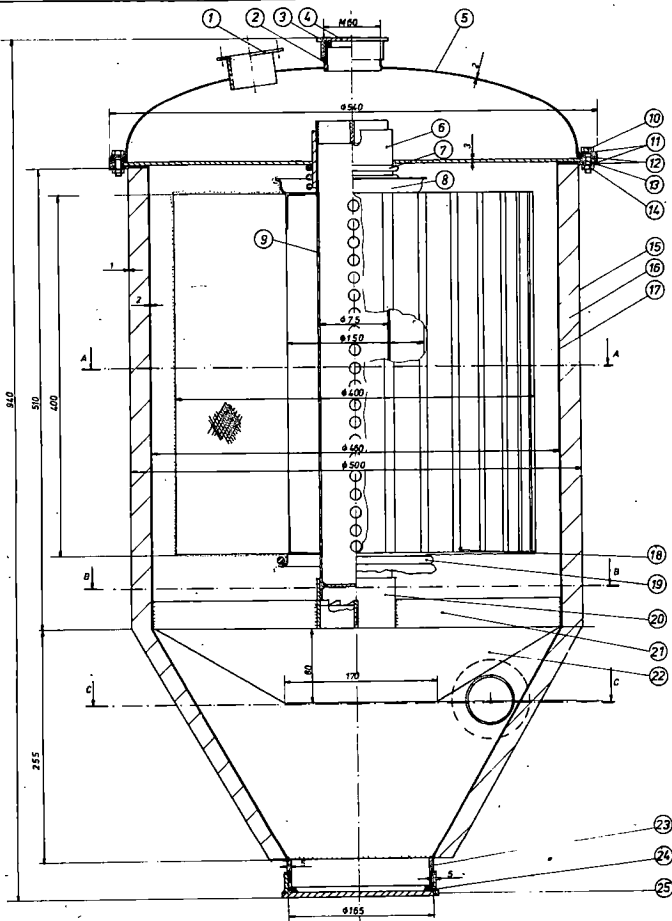
- 79.1.01 Kaasun kehitin
- 79.2.01 Kaasun suodatin
- 80.2.01 Kaasun suodatin, vaihtoehtoinen ratkaisu
- 79.6.01 Kaasun jäähdytin
- 79.3.01 Kaasun sekoitin
- 79.4.01 Laitteiston asennus traktoriin
- 79.5.02 Säättövivusto



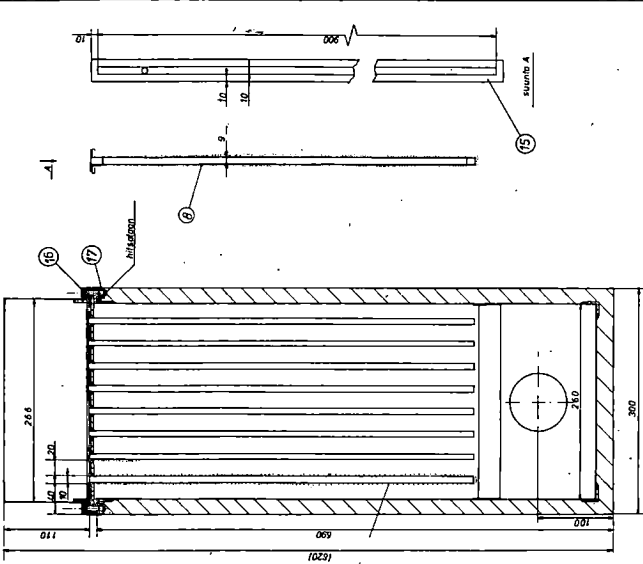
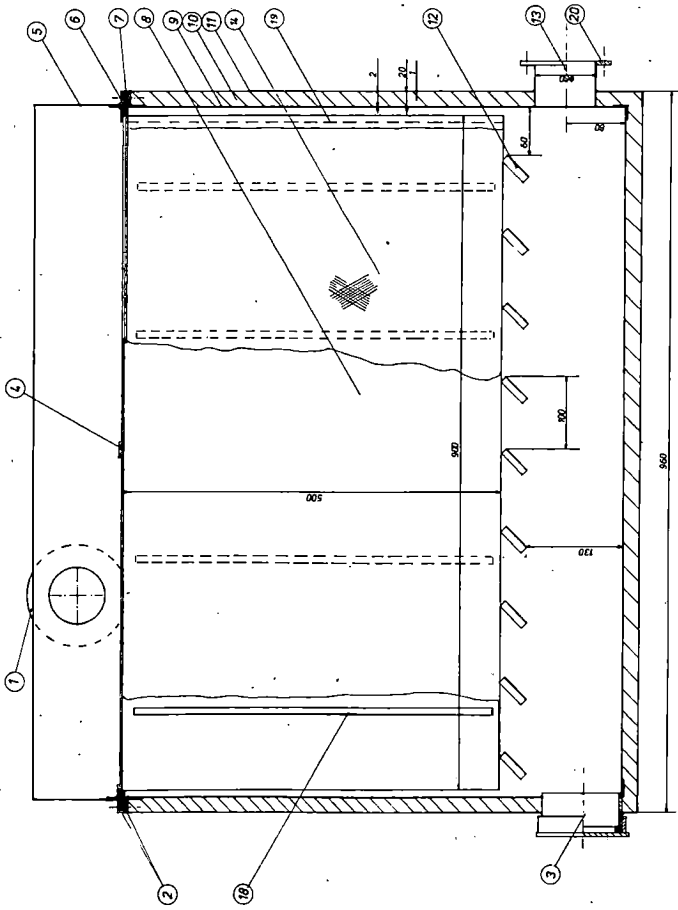




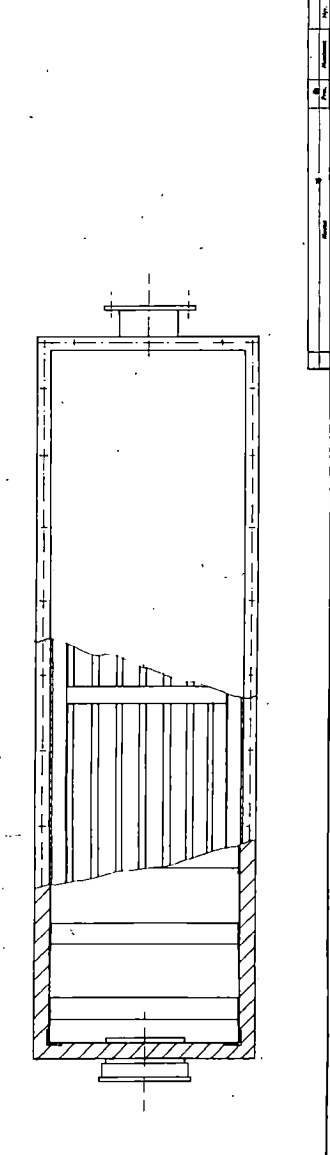
Objekt	Objekt-Nummer	Projekt	Zeichnung	Blatt	Blattzahl
Objekt	Objekt-Nummer	Projekt	Zeichnung	Blatt	Blattzahl
Kategorie	79101 m	Industrie	Zeichnung	1:2.5	6/6
79-1-01b m				Kategorie	Kategorie



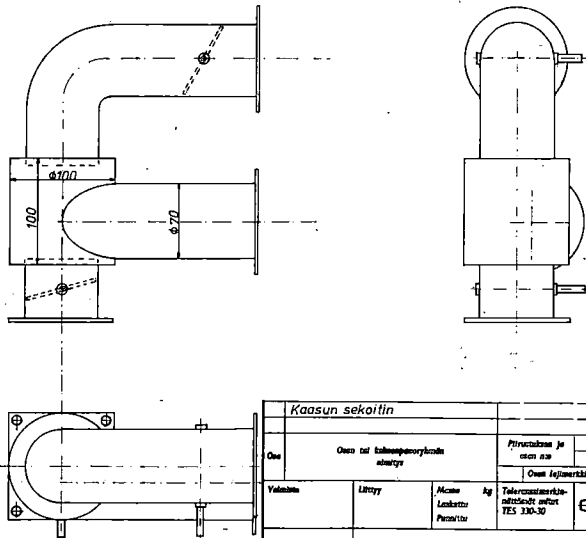
Kokorun suojatin		Kokorunopirustus	
		suoj. pum.	507
		f-2	
79. 2. 01			



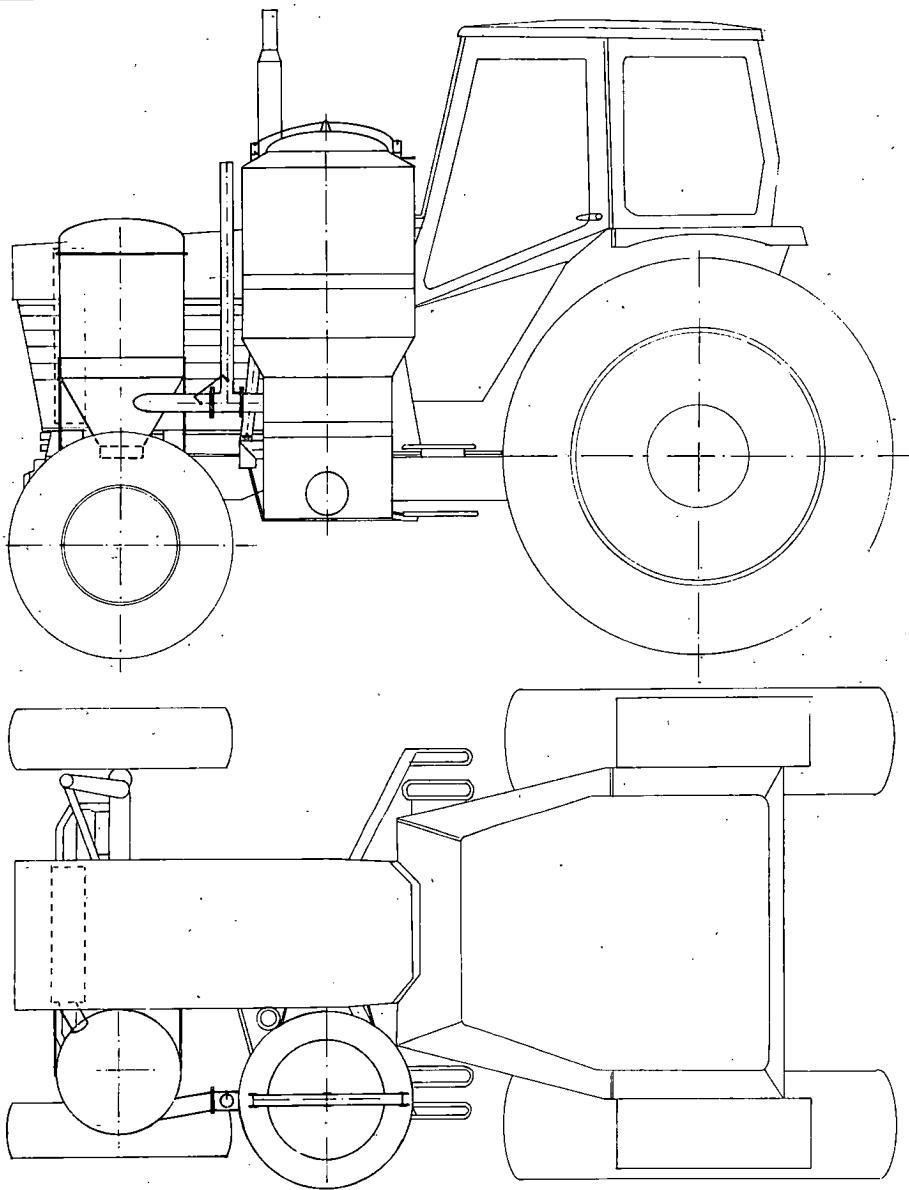
2	3.1.02	120	201
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20



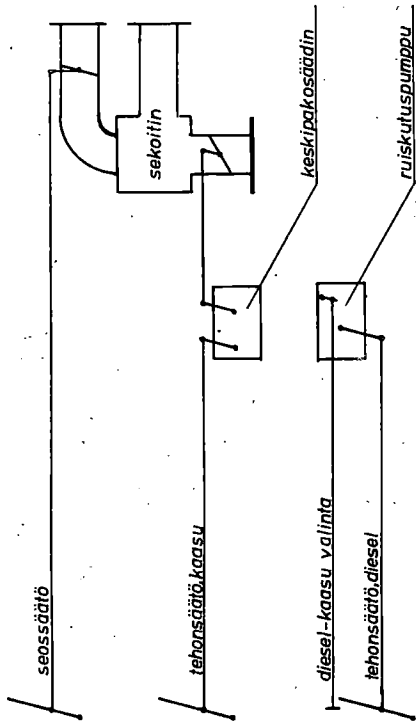




Kaasun sekoitin										
Osa	Osa tai kalusteosvolykoden nimi				Pitkustatus ja osan nro		Loista	Määrä, mittat. malli		Kpl
								Ainoa		
Oman lajimerkin										
Valmistaja	Liittyy	Mittaus Laskutus Painotus	kg	Toleranssimerkinnät mittojen osittain TES 330-30			Selitys 1:2.5	Piir. Yrk.	9.4.80	SPP
79-3-01										
								Kuvaus	Korvattu	



79-4-01	Kaasunkehittimen sijoitus VALMET 702-traktoriin	20.4.79 SPP
---------	---	-------------



säätövivut		Laitos		Häviö, tarkk. mitti		Raj
Osat	Osien tai lisäosienryhmien nimitys	Filtrinosa ja osat n:o		Alue		
Valmistaja	Luokka	Muuta Lisäosa Pääosa	Ry	Säädö	Päiv.	9.4.00
					Tark.	
					Hyv.	
		79-5-02		Käyttö		Käyttö