



VAKOLA

 Helsinki Rukkila

 Helsinki 43 41 61

 Pitäjänmäki

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS

Finnish Research Institute of Agricultural Engineering

1964

Tutkimusselostus *Study report*

4

POLTTOMOOTTORIN KULUMISTUTKIMUS AKTIVOITUJA MÄNNÄNRENKAITA KÄYTTÄEN

Polttomoottorin kulumista tutkittaessa on tähän saakka yleensä jouduttu turvautumaan pitkäaikaisiin käyttökokeisiin, joissa olosuhteet pyritään pitämään mahdollisimman muuttumattomina koko mittauksen ajan, mikä saattaa kestää useita satoja jopa tuhansia käyntitunteja. On selvää, ettei erikoisolosuhteissa, kuten esim. tietyssä käynnistyslämpötilassa, voida tällaisia pitkäaikaisia kokeita tehdä. Vasta radioaktiivisten isotooppien hyväksikäyttö on tehnyt mahdolliseksi moottorin kulumisen tutkimuksen myös lyhytaikaisilla kokeilla, joissa olosuhteita voidaan helpommin hallita ja tutkimus voidaan ulottaa myös esim. alhaisia käynnistyslämpötiloja koskevaksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää männänrenkaiden kulumisen riippuvuutta erilaisista käyttöolosuhteista, etenkin jäähdytysnesteen lämpötilasta. Kokeissa tutkittiin vain ylimpien männänrenkaiden kulumista. Ylin männänrenkas valittiin mittariksi lähinnä seuraavista syistä: 1) Sen kuluminen on yleensä runsaampaa kuin moottorin toisten kuluvien osien, mutta on kuitenkin suhteessa sylinterien ja toisten männän renkaiden kulumiseen. 2) Aktivoitua ylämännänrenkaan asentaminen on helpompaa ja käy nopeammin ja vaarattomammin kuin toisten kuluvien osien. 3) Männänrenkaan aktivointi on helpompi ja halvempi kuin esim. sylinteriputken.

Tutkimuksessa käytettiin Valmet 20-traktoria, jossa on 4-sylinterinen, 4-tahtinen, sivuventtiilimallinen, nestejäähdytteinen ottomoottori. Sen kevytmetallimännissä on 2 tiivistysrengasta ja 1 öljyrengas.

Moottorin tärkeimmät mitat:

Sylinterin läpimitta	75 mm
Iskun pituus	80 ”
Kokonaisiskutilavuus	1 415 cm ³
Puristussuhde	7,4
Moottorin teho	20 hv/2 200 r/min
Moottorin ja mittauspiirin yhteinen öljymäärä ...	6 l

Moottorissa käytettiin voiteluaineena Mobiloil 10 W, Mobiloil Arctic ja Mobiloil A-öljyä.

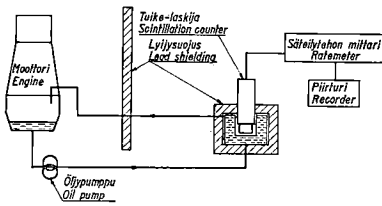
Tutkimusta varten aktivoitiin mäntien ylimmät tiivistysrenkaat. Renkaiden kokoomus oli Fe 93 %, Si 2,28 %, P 0,60 %, Mn 0,90 %, C 2,99 %, S 0,13 % ja Cr 0,10 %.

Aktivointi suoritettiin Harwellin reaktorissa Englannissa. Neutronivuoto oli n. $8,10^{11}$ neutronia/cm² sekunnissa ja aktivointiaika 42 päivää. Yhden renkaan kokonaisaktiivisuus oli aktivoinnin jälkeen n. 17 mC, josta pääisotooppien Fe⁵⁵ ja Fe⁵⁹ osuus oli 10 mC ja 5 mC. Tutkimukselle merkityksettömien, mutta kuitenkin vaarallisten lyhytikäisten isotooppien radioaktiivisuuden alentamiseksi mittauksiin ryhdyttiin vasta neljän viikon kuluttua aktivoinnista. Tällöin jäi vain isotoopin Fe⁵⁹-aktiivisuus merkitseväksi. Tutkimukset perustuivat tämän isotoopin aktiivisuuden mittaukseen.

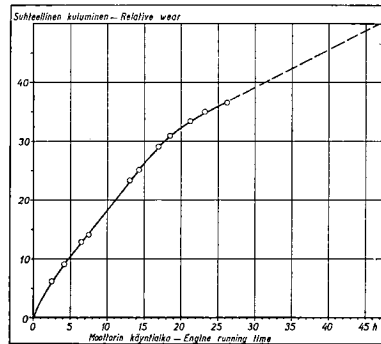
Renkaiden asennus paikoilleen suoritettiin erityisiä pitkävaraisia työkaluja käyttäen. Renkaiden suhteellisen pienestä radioaktiivisuudesta, asennusajan lyhyydestä (vain muutamia minutteja) sekä erikoistyökalujen käytöstä johtuen rajoittui työssä mukana olleiden henkilöiden saama säteilyannos tuntuvasti alle sallitun enimmäismäärän. Paikoilleen asennettuina moottorin kansi, vesivaippa jne. suojasivat suoralta säteilyltä. Noin 0,5 m päässä moottorin sivulla säteilymäärä oli sallitun enimmäisannoksen, 300 mr/viikko, luokkaa. Kun jokaisella tutkimuksen parissa työskennelleellä henkilöllä oli lisäksi annosmittari (taskuionisasiokammio) ja he olivat lääkärin valvonnan alaisia, ei säteilystä ollut vaaraa.

Mittauksen järjestely nähdään piirroksista 1. Periaate on seuraava: Moottorin käydessä männänrenkaista irronneet kulumistuotteet huuhtoutuvat suurimmaksi osaksi voiteluöljyn mukana öljypohjaan. Moottorin öljynkiertojärjestelmään on asetettu sivuvirtauspiiri. Erillinen pumppu panee öljyn kiertämään kammion

kautta, johon on sijoitettu säteilyn ilmaisin, edelleen takaisin moottoriin. Kammioon sijoitettu säteilyn ilmaisin on saksalaisen toiminnimen Friescke & Hoepfnerin valmistama tuikelaskija FH 421 A. Tuikelaskijassa toimii säteilyn ilmaisijana talliumilla aktivoitu natriumjodidikide. Edelleen laskijassa on monistinvalokenno, joka muuttaa ja vahvistaa tuikeaineessa fotoneiksi muuttuneen säteilyn jänniteimpulsseiksi. Jänniteimpulssit johdetaan edelleen osoitinlaitteeseen (FK 3/507). Mittauspiiriin on edelleen kytketty piirturi. Saatu mittarilukema on suoraan verrannollinen öljyn radioaktiivisuuteen ja siten myös männän renkaiden kulumiseen.



Piirros 1. Mittauksen järjestely
Fig. 1. Block diagram of measuring equipment



Piirros 2. Moottorin suht. kulminen hiontakäytön aikana
Fig. 2. Relative engine wear during running-in period

Tuikelaskija ja kammio oli ympäröity 50 mm lyijyvaipalla taustasäteilyn poistamiseksi. Koska tuikelaskijan käyttölämpötilan pitää olla 0...40° C, oli kuuman voiteluaineen läheisyydessä olevan tuikepään jäähditys järjestetty jatkuvalla kylmän veden kierrolla.

Kun tutkimus kesti usean kuukauden ajan ja merkkiaineena oleen Fe⁵⁹ puoliintumisaika on vain 45,1 päivää, saadut mittarilukemat eivät sellaisinaan ole vertailukelpoisia. Kun tunnetaan aktiivisuuden riippuvuus ajasta ja hajoamisvakiosta, korjaus voidaan suorittaa muuntamalla eri ajankohtina saadut koetulokset samaan hetkeen. Vertailupohjaksi otettiin mittausten alkamispäivä.

Lämpötilalla tarkoitetaan tässä selostuksessa aina moottorin jäähdytysnesteen lämpötilaa mitattuna moottorista poistuvasta nesteestä. Kun lämpötilaa pidettiin normaalia alhaisempana, järjestettiin jatkuva kylmän veden virtaus moottorin jäähdytysjärjestelmän kautta.

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään seuraavien tekijöiden vaikutusta kulumiseen:

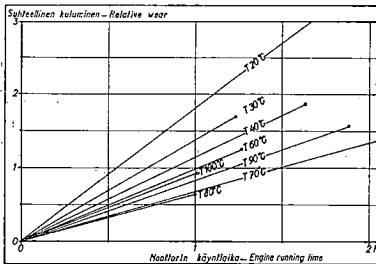
- 1) Käyntilämpötila.
- 2) Öljyn viskositeetti.
- 3) Käynnistys eri lämpötiloissa.
- 4) Kuormitus.
- 5) Käyntinopeus.
- 6) Eräät poltto- tai voiteluaineeseen sekoitettavat lisäaineet.

Käyntilämpötilan, öljyn viskositeetin, kylmäkäynnistyksen ja lisäaineiden vaikutusta tutkittaessa käytettiin moottoria kuormittamatta ja käyntinopeus pyrittiin pitämään vakiona, n. 1 800 r/min. Kuormituksen, käyntinopeuden ja lisäaineiden vaikutusta kulumiseen tutkittiin moottorin lämpötilan ollessa 80° C.

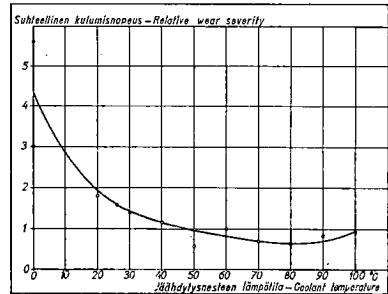
Tutkimuksen alussa, uusien männänrenkaiden hiontakäytön aikana, joka kesti n. 25...30 tuntia, mitattu kuluminen oli huomattavasti nopeampaa kuin myöhemmin, jolloin varsinaiset kokeet suoritettiin (piirros 2).

Käyntilämpötila

Käyntilämpötilan vaikutusta tutkittaessa havaittiin, että kuluminen väheni alussa nopeasti lämpötilan noustessa n. 50° C:een. Lämpötilan nousulla 50...80° C:een ei sen sijaan ollut kovin paljon merkitystä kulumisen kannalta. Tutkimuksessa olleen moottorin edullisimmaksi käyntilämpötilaksi osoittautui n. 80° C käytet-



Piirros 3. Moottorin suhteellinen kuluminen moottorin käydessä kuormittamattomana jäähdytysnesteen lämpötilan vaihdelta 20—100° C
Fig. 3. Relative wear when the engine was running without load with coolant temperature varying from +20° C to +100° C



Piirros 4. Moottorin suhteellinen kulumisnopeus moottorin jäähdytysnesteen lämpötilan vaihdelta 0—100° C

Fig. 4. Relative wear severity with coolant temperature varying from ±0° C to +100° C

täessä Mobiloil Arctic SAE 20-asteista voiteluöljyä. Lämpötilaa edelleen nostettaessa kuluminen lisääntyi jonkin verran.

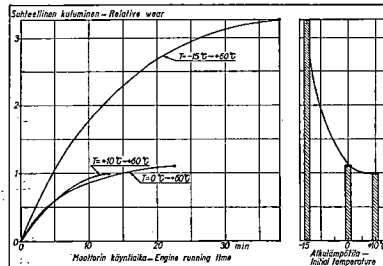
Moottorin käydessä samassa lämpötilassa vakionopeudella kuluminenkin pysyi jatkuvasti samana. Piirroksessa 3 esitetään tällaista vakio-olosuhteissa tapahtunutta kulumista suoraparvella. Havainnollisemmin kulumisen riippuvuutta käyntilämpötilasta voidaan esittää piirtämällä aikayksikössä tapahtunut kuluminen käyntilämpötilan funktiona (piirros 4).

Öljyn viskositeetti

Kulumisen riippuvuus käyntilämpötilasta oli samantapainen käytettiinpä voiteluaineena SAE 10-, 20- tai 30-asteista öljyä. Myös kulumisen määrä oli samaa suuruusluokkaa. Edullisimmaksi lämpötilaksi Mobiloil 10 W, SAE 10-asteista öljyä käytettäessä saatiin n. 70°C ja Mobiloil A, SAE 30-asteista öljyä käytettäessä n. 80°C . Kyseisen moottorin edullisimpana käyntilämpötilana voidaan siis pitää n. $70 \dots 80^{\circ}\text{C}$.

Käynnistys

Piirros 5 esittää kulumista, kun moottori käynnistetään eri lämpötiloissa ($-15, 0$ ja $+10^{\circ}\text{C}$) ja käytetään kunnes se on läm-

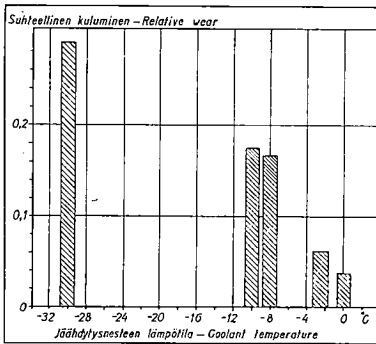


Piirros 5. Moottorin suhteellinen kuluminen käynnistyksessä, käynnistyslämpötilan ollessa $-15, 0$ ja $+10^{\circ}\text{C}$. Moottorin lämpötilan on annettu nousta 60°C :een moottoria kuormittamatta.

Fig. 5. Relative wear at starting. Starting temperatures: -15°C , $\pm 0^{\circ}\text{C}$ and $+10^{\circ}\text{C}$. The engine was running unloaded until the coolant temperature had risen to $+60^{\circ}\text{C}$

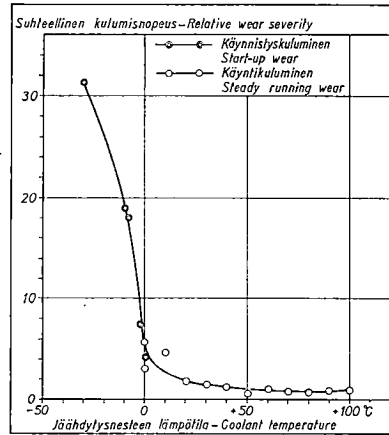
minnyt samaan lämpötilaan (60°C). Käynnistyslämpötilan lisäksi vaikuttaa piirroksen esittämiin kulumismääriin koneen lämpiämiin tarvittava käyntiajan piteneminen alkulämpötilan aletessa.

Varsinaisen käynnistyksen aikana tapahtuvan kulumisilmiön selvittämiseksi suoritettiin eri lämpötilassa ($-30 \dots +10^{\circ}\text{C}$) 5 min pituisia käynnistyksiä ilman sytytysvirtaa. Käynnistyksen ensimmäisten 30 s aikana pidettiin ryyppyläppä suljettuna. Moottorin nopeus laski käynnistyksen kestäessä n. 200:sta 150:een r/min. Voiteluaineena käytettiin Mobiloil Arctic SAE 20-öljyä. Piirroksessa 6 a esitetään kulumisen määrä kyseisissä kokeissa. Piirroksessa 6 b on verrattu tällaista käynnistyskulumista tavalliseen



Piirros 6 a. Moottorin suhteellinen kuluminen käynnistettäessä moottoria ilman sytytysvirtaa eri lämpötiloissa 5 min ajan

Fig. 6 a. Relative wear at starting when turning the engine with starter motor only for 5 minutes at various temperatures



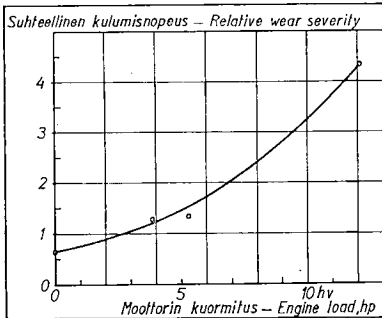
Piirros 6 b. Moottorin suhteellinen kulumisnopeus käynnistysvaiheen sekä käyntivaiheen aikana moottorin jäähdytysnesteen lämpötilan vaihdelta -30 — $+100^{\circ}\text{C}$

Fig. 6 b. Relative wear severity in starting and steady running phases with coolant temperature varying from -30°C to $+100^{\circ}\text{C}$

käyntikulumiseen. Kuluminen on laskettu tuntia kohden käyntinopeuden ollessa 1800 r/min. Vertailupisteitä on vain 0°C :n seutuvilla. Käynnistyskuluminen on sillä alueella ollut hieman vastaava käyntikulmista suurempi. Alemmissa lämpötiloissa käynnistyskuluminen on lisääntynyt hyvin jyrkästi ollen -30°C paikkeilla n. 7...8-kertainen verrattuna 0°C :n tienoilla tapahtuneeseen kulumiseen.

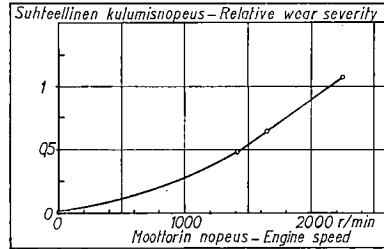
Kuormitus

Tutkittaessa kuormituksen vaikutusta kulumiseen traktoria jarutettiin hinnapyörästä 5 ja 12,5 hv kuormituksilla (piirros 7). Jäähdytysveden lämpötila oli 80° C ja voiteluöljy SAE 20.



Piirros 7. Moottorin suhteellinen kulumisnopeus moottorin kuormituksesta riippuvana.

Fig. 7. Relative wear severity according to engine load.



Piirros 8. Moottorin suhteellinen kulumisnopeus moottorin käyntinopeudesta riippuvana. Moottori on käynyt ilman kuormitusta.

Fig. 8. Relative wear severity according to engine speed. Engine running without load.

Käyntinopeus

Tutkittaessa käyntinopeuden vaikutusta kulumiseen moottoria käytettiin kuormittamatta nopeuden ollessa 1410, 1650 ja 2250 r/min tunti kullakin nopeudella (piirros 8). Jäähdytysveden lämpötila oli 80° C ja voiteluöljy SAE 20.

Eräät lisäaineet

Eräissä kokeissa sumutettiin Termo Start-nimistä ainetta palamisilman joukkoon käynnistymisen helpottamiseksi. Aineella ei todettu olevan havaittavaa vaikutusta käynnistyskulumiseen.

Voitelu- ja polttoaineeseen lisättävistä hivenaineista, joiden on sanottu puhdistavan moottoria, lisäävän tehoa ja vähentävän kulumista, tutkittiin erään merkin (Wynn oil Company) vaikutusta kulumiseen. Aineeseen kuului kaksi komponenttia, joista toista lisättiin polttoaineeseen ja toista voiteluöljyyn ohjeissa ilmoitetuissa suhteissa. Mittauksissa ei havaittu mitään kulumista vähentävää vaikutusta.

Mittausten luotettavuutta arvosteltaessa on todettava, että samankin moottorin kulumisen, vieläpä näennäisesti samanlaisissa

olosuhteissa ei tapahdu aina samalla tavalla. Mittaustulosten luotettavuuden lisäämiseksi olisi ollut suoritettava enemmän kokeita samoissa olosuhteissa. Virhemahdollisuuksia lisäävästi vaikutti nimenomaan jättämä, joka on kulumisen ja mittarin osoituksen välillä. Kesti nimittäin aikansa, ennenkuin radioaktiiviset kulumistuotteet joutuivat öljyn mukana laskulaitteeseen. Öljyn viskositeetista riippuen tämä aika vaihteli muutamasta minuutista noin kymmeneen minuuttiin. Erityisesti tämä seikka tuotti vaikeuksia suoritettaessa mittauksia alhaisissa lämpötiloissa. Moottorin lämpötilan mittausta suoritettiin moottorista poistuvasta vedestä eikä sylinterin pinnasta, josta lähinnä olisi saatu se lämpötila, jonka vaikutusta haluttiin tutkia.

Piirroksissa esitettyä keskimääräistä käyntikulumisen suuruutta 0°C :n vaiheilla voidaankin pitää vain suuntaa antavana.

Kaikki kulumistuotteet eivät kulkeudu öljypohjaan ja sieltä öljyn mukana edelleen mittauskammioon, vaan osa palaa ja poistuu poistokaasujen mukana. On epäselvää, miten suuri tämä osa on, ja vaihteelleko palamistuotteiden mukana poistuva määrä erilaisissa käyntiolosuhteissa vaikuttaen näin ollen mitattuun suhteelliseen kulumiseenkin. Ensin mainitusta seikasta johtuen koetuloksia ei pyrittykään esittämään absoluuttisina, vaan tyydyttiin suhteellisen kulumisen selvittämiseen.

Kirjallisuusluettelo

References

1. Deterding, Calow: *The application of radiotracers to the measurement of engine wear in moving vehicles.* Shell Research Ltd., Thornton Research Centre, 1958.
2. Deterding, J. H. and Dyson, A: *Radioactive isotopes for measuring piston ring wear.* The Engineer, Vol. 198, No. 5 149, p. 442, (Oct. 1, 1954).
3. Englisch, C. *Kolbenringe*, Band II, Wien, Springer-Verlag, 1958 pp. 67—167.
4. Howes, J. E. Jr et al.: *The use of radiotracers techniques to study lubrication and wear in large diesel engines.*
5. Nutt, Landen, Edgar: *Effect of surface temperature on wear of diesel engine cylinders and piston rings*, SAE Transactions 1955, Vol. 63 pp. 694—703.
6. Schmeiser, K: *Radioaktive Isotope, ihre Herstellung und Anwendung*, Berlin, Springer-Verlag, 1957.
7. *Three papers on engine wear*, Automobile division, The Institution of Mechanical Engineers, London, William Clowers and Sons, 1960.
8. Walker, Pywell: *Radioactive isotopes for measuring engine wear*, Nuclear Energy Engineer, May, 1959.
9. Watson, Hanly, Burchell: *Abrasive wear of piston rings*, SAE Trans. 1955, Vol. 63, pp. 717—726.

Investigation of wear of internal combustion engine using radioactive piston rings

The purpose of these tests, which were based on the use of radioisotopes, was to determine the wear of piston rings in the tractor engine and the dependence of this wear upon the operational conditions and especially upon the temperature.

Although the object of the investigation was to determine the wear of the top piston rings only, the wear of the other piston rings and cylinders are also described, their wear rate curves being similar to that of the top piston ring. The wear rate of the top piston rings is more regular, and the wear is more easily distinguishable under variable conditions and arrangement of the tests, e.g. irradiation and assembling of the rings is easier than that of the cylinders.

Engine used in the tests

The engine used in the tests was a Finnish made, four-cylinder Valmet four-stroke gasoline engine. It is water-cooled and a side-valve type. The light alloy pistons have 2 compression rings and 1 scraper ring.

Brief specifications:

Bore	75 mm
Stroke	80 "
Cubic capacity	1 415 cm ³
Compression ratio	7,1
Horsepower	20 hp/2 200 r/min

The composition of the top piston rings was as follows: Fe 93 %, Si 2,28 %, P 0,60 %, Mn 0,90 %, C 2,99 %, S 0,13 % and Cr 0,10 %.

Procedure and results

The top piston rings were irradiated in the Harwell pile in England. The neutron flux was $8,10^{11}$ neutrons/cm²/sec. and the irradiation time 42 days. The total activity of a ring after the irradiation was about 17 mC from which the share of the main isotopes, Fe⁵⁵ and Fe⁵⁹, were 10 mC and 5 mC. To reduce the radioactivity of the shortlived isotopes the measurements were first started 4 weeks after the time of irradiation. Thus only the activity of the Fe⁵⁹ isotope remained significant, and the tests were based on its gamma radiation.

The rings were fitted to the engine by the use of long-handled tools. This method kept the radiation rate considerably under the permissible dose because the radio-activity of the rings was comparatively low and the assembly time took only a few minutes. After the rings were assembled in the engine,

the cylinder head and the water jacket shielded against the direct radiation. Thus, the radiation rate, at 0,5 m from the engine, was only about 300 milliröntgens per week. Every operator also had a dosimeter and was under medical supervision.

A block diagram of the measuring equipment is shown in Fig. 1.

In order to maintain a relatively constant oil charge, the engine lubricating oil from the crankcase was continuously circulated by means of separate oil pump through a counting cell and returned to the crankcase. The scintillation counter, type FH 421 A, in the counting cell was made by Frieseke & Hoepfner, West-Germany. The radiation detector in the scintillation counter was a thallium activated sodium iodide crystal. A photomultiplier tube converted the radiation into electrical pulses. The pulses from the photomultiplier were fed further to a counting unit, type FHK 3/507 (Frieseke & Hoepfner) which consisted of a pulse height analyzer and a recorder. The pulse rate was proportional to the radioactivity of the oil and, therefore, proportional to the ring wear.

The scintillation counter head was surrounded by a lead castle for eliminating the background radiation. Because the operational temperature of the scintillation counter should be between 0 and 40° C, and since the oil in the cell could reach temperatures above 100° C, the counter was cooled by a continuous cold water circuit.

Since the tests lasted for 3—4 months and the half life of the Fe⁵⁹ isotope is only 45½ days, the results obtained were not proportional. However, the dependence of the activity on the time and decay constant is known and the results obtained at different points of time can be corrected by transforming them to the same moment.

In these tests the basis for comparison was the day when the measurements were commenced. Thus, the activity of the oil, measured after a certain period of time counted from the first measuring day, was multiplied by a coefficient obtained from a formula which describes the activity against time by setting to it the difference of time and the decay constant.

The temperature of the engine was measured from the upper (outlet) water pipe of the cooler. The engine temperature was kept low by circulating cold water continuously through the cooling system.

In the tests attempts were made to determine the effect of the following factors on the wear rate:

- a) Effect of working temperature on the wear rate.
- b) Effect of oil viscosity on the working temperature.
- c) Effect of cold starts on the wear rate.
- d) Effect of loading and engine speed on the wear rate.
- e) Effect of certain additives on the wear rate.

When carrying out tests to determine the effect of working temperature, oil viscosity, cold starting and additives, the engine was running without load and the engine speed was maintained constant at about 1800 r/min. When the effect of loading, engine speed and antiwear additives was investigated, the engine temperature was kept at 80° C. In the beginning of the tests, during the 25—30 hours running-in period, the wear rate was considerably higher than during the actual tests (Fig. 2).

The results of the tests concerning the working temperature of the engine showed that the wear rate curve was steep at first but became more gradual at higher temperatures. At lower temperatures, especially upon starting, the wear rate was thus considerably higher than at normal working temperatures.

When the engine was running at a constant temperature, and the loading and speed remained unchanged, the wear rate curve was nearly a straight line. Only the slope of this line varied at different temperatures, the wear rate being higher at the lower engine temperatures. Fig. 3 shows the relationship of the wear rate to the temperature.

The wear rate decreased, however, only to a certain point and then increased. The optimum working temperature of the engine tested was 80° C with the viscosity of the oil being SAE 20. The dependence of the wear rate on the temperature is also presented in Fig. 4 which shows the relative wear severity at different temperatures.

The oils of viscosity ratings SAE 10 and SAE 20 behaved in the same manner as the oil of viscosity rating SAE 30. The optimum temperature of the SAE 10 oil was 70° C and that of the SAE 30 oil 80° C.

Fig. 5 shows the wear rate when the engine was started at different temperatures (—15° and +10° C) and was run until the temperature of the engine was 60° C. In addition to the starting temperature, the lengthening of the running time because the initial temperature was lower, also had an effect on the wear rate.

In the actual starting tests the engine was started at different temperatures between —30 and +10° C. The engine oil viscosity was SAE 20. In order to obtain results which were as reliable as possible, the starting time was prolonged to 5 minutes but fuel was given during 30 seconds only. The results are shown in Fig. 6 a. Start-up wear is compared with steady running wear in Fig. 6 b. Wear rates are calculated per one hour the engine speed being 1800 r/min. There are comparable points at about 0° C only. Start-up wear has been in these regions a little higher than corresponding steady running wear and it has increased very sharply at lower temperatures being at about —30° C approximately 7...8 times so high than at about 0° C.

The influence of loading was tested by braking the engine through the belt pulley by means of an electric motor. The loads were 5 and 12,5 h.p. (Fig. 7). The engine temperature was maintained at 80° C and the engine speed at about 1800 r/min. The engine oil viscosity was SAE 20. In the tests where the effect of the engine speed on the wear rate was investigated the engine was run without load at speeds of 1420, 1650 and 2250 r/min. The results are shown in Fig. 8.

The effect of the following additives on the wear rate was also investigated:

1. A liquid to be sprayed into the inlet manifold in order to facilitate starting from the cold.
2. An anti-wear additive to be mixed into the fuel.
3. An anti-wear additive to be mixed into the lubricating oil.

In these tests — even if of short of duration — no significant effect on the wear rate was observed.

Discussion

When evaluating the dependability of the results it must be taken into consideration that the wear of the same engine does not always take place in the same manner even though the conditions are the same.

In order to obtain more dependable results a considerably greater number of tests under the same conditions should have been carried out. The fewness of the tests was due to the shortage of time. For the same reason, also, the

time used for separate test runs was relatively short (from 1 to 3 hours) which increased the possibilities of errors.

The radioactive wear products, loosened from the piston rings, took a variable amount of time to reach the scintillation counter. This delay which varied from 2 to 10 minutes, depending on the oil viscosity, also caused errors.

At lower temperatures (from +20 to +30° C), the engine was kept cooled by means of a continuous cold water circuit. The actual engine temperature is a little higher than the recorded temperature measured from the outlet pipe of the cooler. Thus the approximate wear rate especially at temperatures around 0° C presented in Fig. 3 may be considered as an indication of the direction only (see the points in 0-line).

It may also be assumed that a certain part of the products of wear leave the engine with exhaust fumes. It is unclear how great this part is and how much it varies according to the different operational conditions. However, from this it follows that the test results on wear rate were not even attempted to be presented as absolute figures but as relative figures. In any case, in order to eliminate this possibility of error, analyses of exhaust fumes had to be carried out.

Also, a statistical error may take place in separate observations because the radioactive decay is not regular. When a great deal of the results are presented as a difference between the initial and final readings the statistical error may be as much as four fold.

The possibilities and sources of errors are thus numerous. Since the relative wear rates recorded, however, conform to the results of investigations carried out in other countries the results obtained in our tests also may be considered correct.