

# «*The vital spark*»



HØGSKOLEN  
I BERGEN

BERGEN UNIVERSITY COLLEGE

*Litt om utviklingen av tennpluggen...*

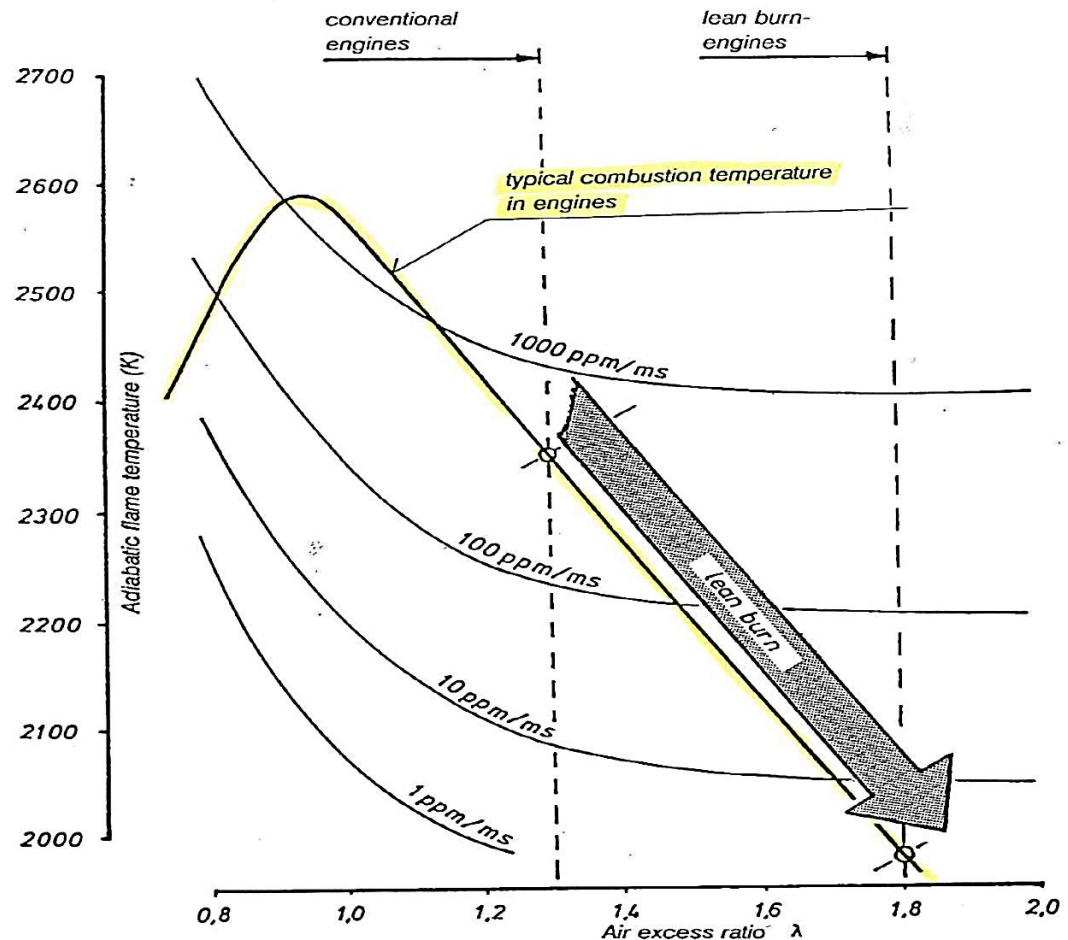


*Ved Lars M Nerheim,  
førsteamanuensis, IMM*

## Low-emission combustion requires strong ignition...

□ From the late 70s and through the 80s as emission limits for vehicles and power plants were introduced, a lot of R&D efforts naturally went into **low-emission combustion**.

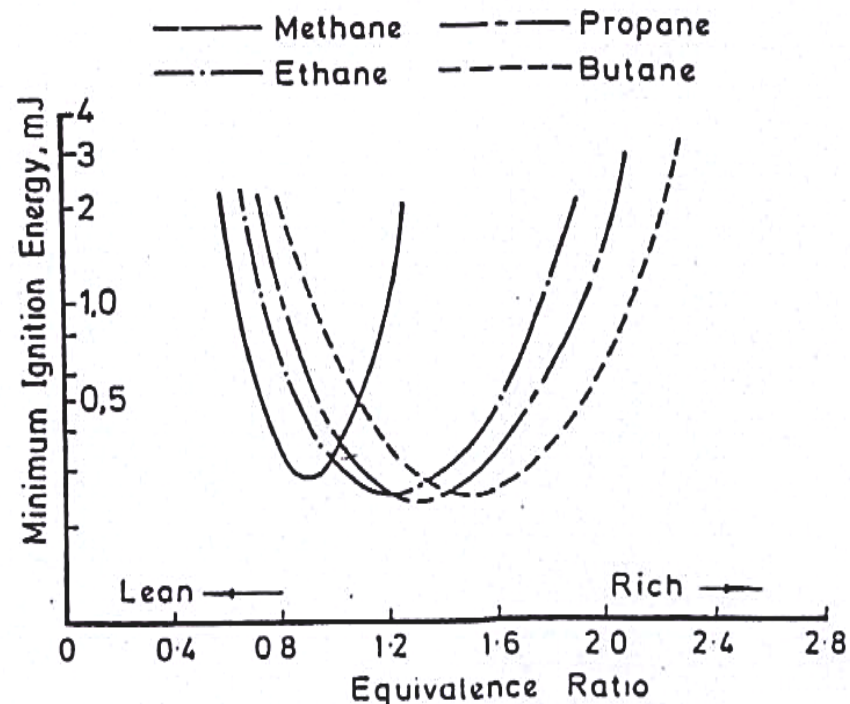
□ The best way forward was found to be «lean burning», and this has since become the standard concept both for continuous burning (Gas turbines) and reciprocating thermal machines (Piston engines)....



## Low-emission combustion requires strong ignition (2)

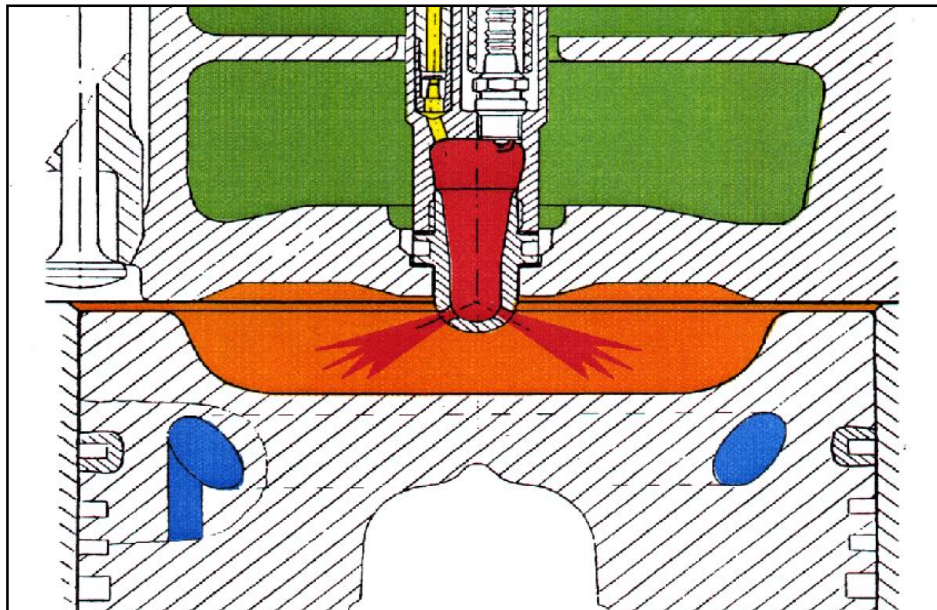
- However, for piston engines a fundamental challenge was the requirement for rapid and strong ignition of the lean fuel-air mixture in the cylinder, and which still is an area of much development. The Spark Plug is a key element in this...

### Trends of Minimum Ignition Energy for some Gas types:



## ***Low-emission combustion requires strong ignition (3)***

- *Meanwhile, a much used solution is a small pre-combustion chamber, PCC, in which a spark plug fires a small and rich mixture volume, producing «torches» which then fires up the main chamber.  
However, this puts very high mechanical and thermal loads on the spark plug....*



# What a spark plug must do...

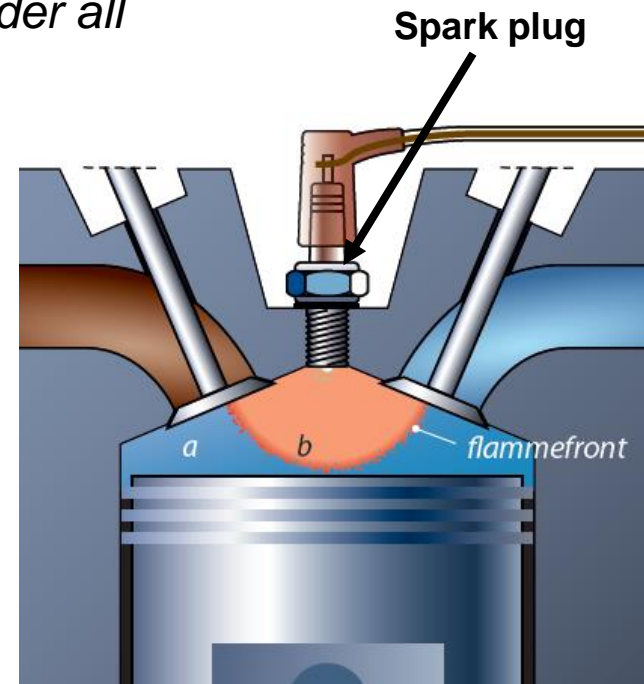
HVL 080217LMN

The «humble spark plug» must perform many critical functions:

- ❑ Reliably produce the strongest arc possible under all operating conditions
- ❑ Seal reliably against the firing pressure
- ❑ Prevent «arcing» and «creeping» currents...
- ❑ Stay mechanically and electrically robust and reliable

This is to be achieved during millions of cycles, where the useful lifetime is depending on:

- Lowest possible electrode erosion
- Good «self-cleaning» ability, i.e. prevent fouling and deposit build-up

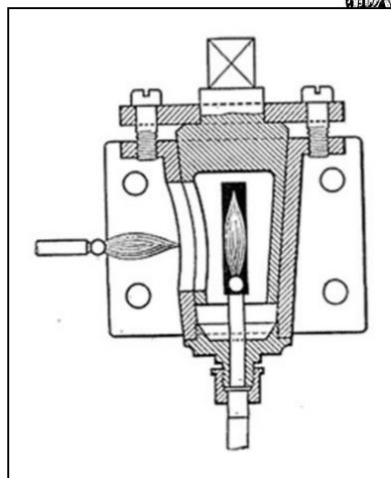


## Motorutviklingen startet med tenningsproblemer...

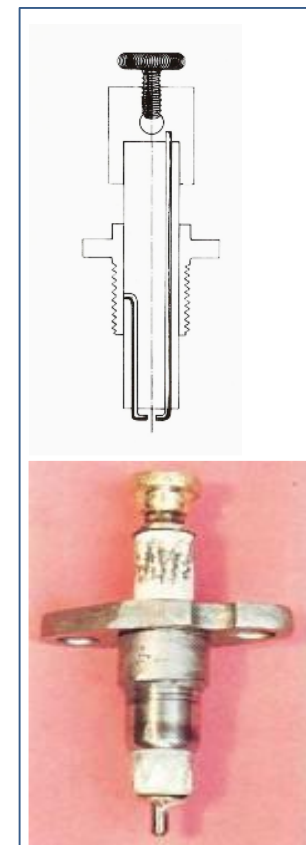
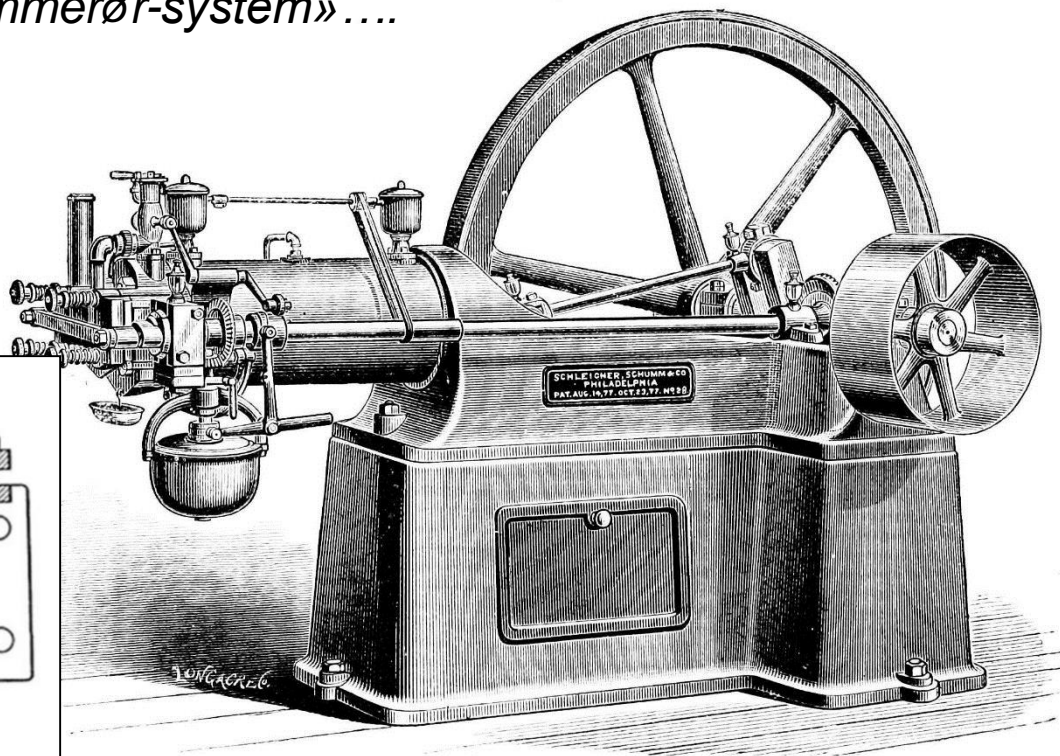
HVL 080217LMN

Den første elektriske tennpluggen ble oppfunnet av motor-pioneren **E. Lenoir** i 1860, men pålitelig tenningen var et hovedproblem i den tidlige motorutviklingen, så derfor ble også andre metoder forsøkt.

**N. A. Otto**, forbrenningsmotorens «far», benyttet derfor opprinnelig et gass-fyrt «flammerør-system»....



Otto's flammerør-  
tenner fra 1876



Lenoir's elektriske  
tennplugg fra  
1860

## **Elektrisk tenning overtar:**

*Dette med elektrisitet var ennå noen nytt rundt 1880, spesielt var tilstrekkelig strøm-lager (batteri) et problem. Derfor var **elektrisk tenning** fortsatt på utviklingsstadiet, og en godt fungerende systemløsning var ennå ikke utviklet.*

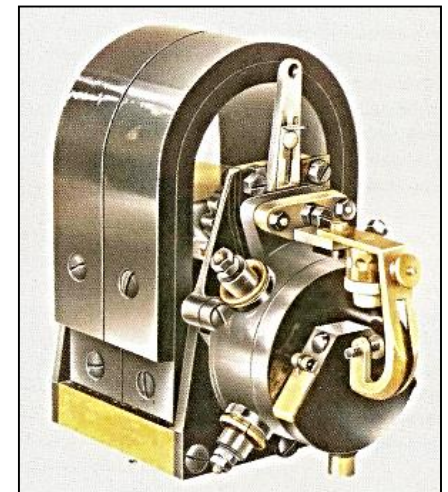
*Som sagt hadde **Lenoir** benyttet et enkelt lavspent-system, men pga alle problemene valgte **Otto**, **Daimler** og **Benz** heller andre tennings-løsninger enn elektrisk...*

*Engelskmannen Sir Oliver **LODGE** lanserte banebrytende konstruksjoner, bl a kondensator-tenning, men disse var ennå for tidlig for sin tid.*

***Robert Bosch** hadde startet utviklingen av tennings-magneten. Denne fikk sitt gjennombrudd i 1902, og dermed var de elektriske tennings-systemene etablert for godt. Bosch kom også tidlig med i produksjonen av tennplugger.*

*Det første batteri-baserte systemet med coil ble produsert av **Delco** for Cadillac i 1910.*

En tidlig BOSCH tenningsmagnet. Dette var et gjennombrudd som satte Bosch på kartet, og «magneten» går fortsatt igjen i firmalogoen....

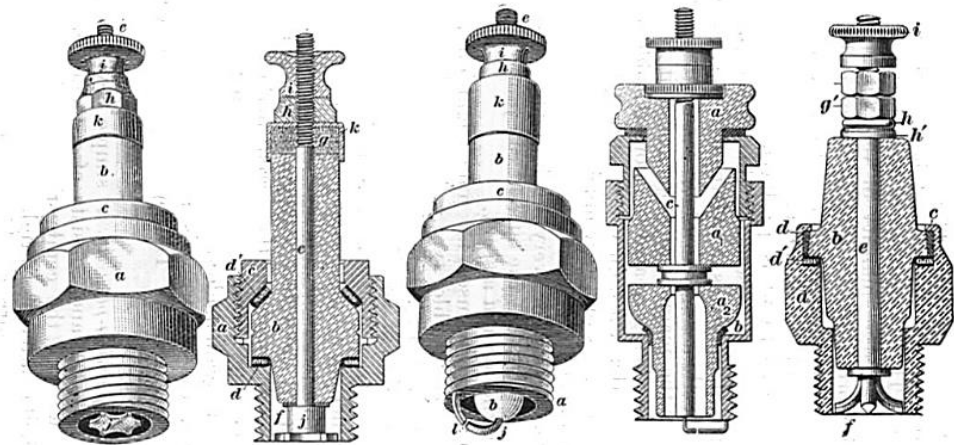


## **Tennpluggen oppstår som egen komponent:**

Man kan si at elektrisk tenning ble etablert fra ca år 1900 og de første egne tennplugg-konstruksjonene dukker også opp på den tiden.

Frankrike var ledende innen bil og motor den gang (De Dion Bouton, Darracq, Panard & Levassor, Renault, Peugeot osv) og typisk nok var de første tennplugg-utviklingene også fransk.

Oppbyggingen av noen tidlige tennplugger:



**Albert Champion** var en fransk racer-syklist som hadde blitt interessert i biler og motorer på sine turneer i USA. Han begynte å utvikle og produsere tennplugger for den nye bransjen som var i fremvekst, og kom til å bli en viktig aktør med to førende firma grunnlagt av ham (Champion Spark Plug Co og AC Spark Plugs Inc )



## Første fasen i tennplugg-utviklingen: Isolator-problemer

Innledningsvis var de første tennpluggene meget u-pålitelige komponenter til tross for de beskjedne belastningene de ble utsatt for. Hovedproblemet var **isolatoren**, denne var laget av *konvensjonelt, skjørt porselen* og sprakk og havarte derfor meget lett med både overslag og gasslekkasjer som følge.



## Isolator-problemene får en løsning...

Et teknisk omslag kom i 1911.....

→ ENTER THE BRITISH !

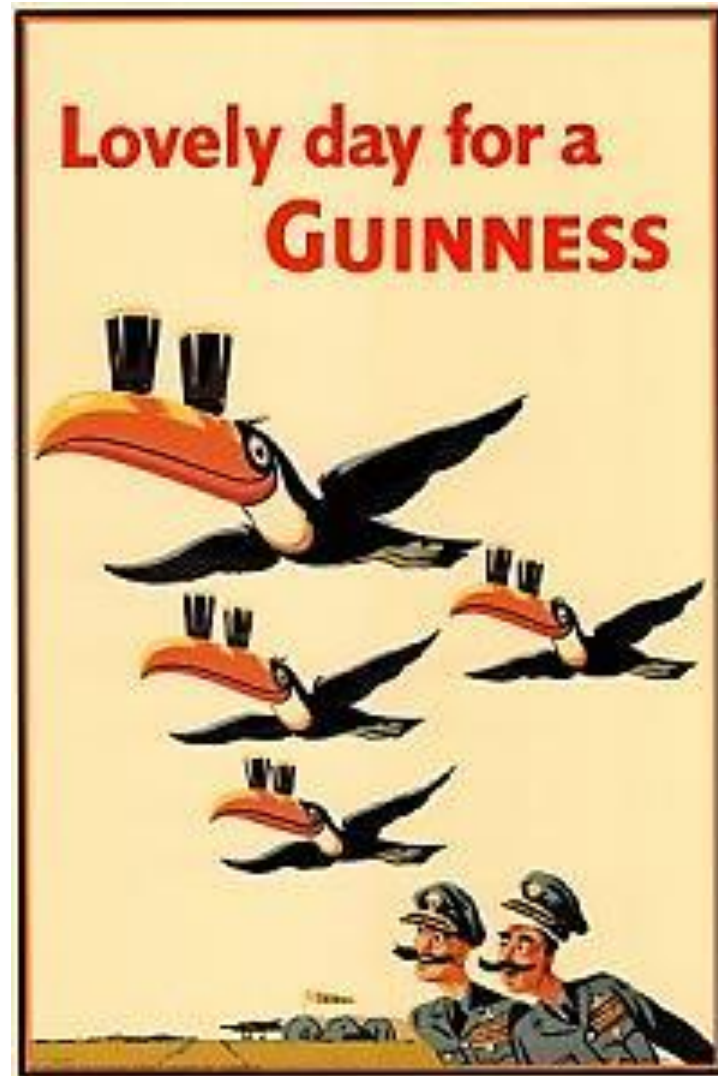
*Kenelm Lee Guinness var fra Guinness-familien, bemidlet, og en meget engasjert og dyktig recerbil-kjører ....*

*Etter å ha irritert seg grundig over den dårlige kvaliteten på datidens tennplugger, tok han saken i egne hender, - teknisk kyndig som han var.*

*Han utviklet et nytt isolator-konsept basert på **glimmer** (engelsk: mica) og samtidig gjorde han konstruksjonen sin mekanisk mer robust spesielt*

*hva angår tetninger, og dette resulterte i en markant forbedring av tennpluggteknologien gjennom lanseringen av **K L G** – pluggene.*

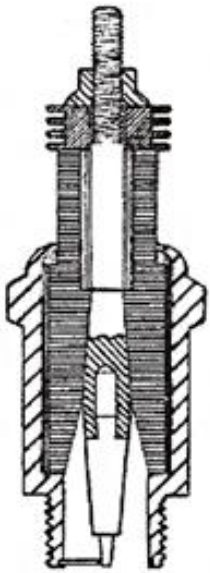
*Etterspørselen tok formelig av og de kom i masseproduksjon så vidt tidsnok før 1. verdenskrig.*



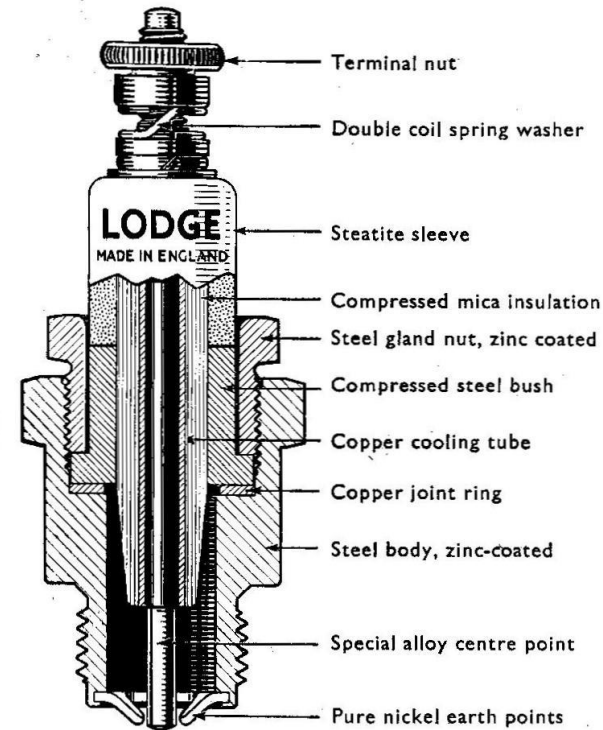
## Britiske tennplugger: «racing improves the breed» !

HVL 080217LMN

*KLG innførte løpende også andre tekniske forbedringer, til dels sammen med LODGE, og britene kom til å lede an i tennplugg-utviklingen så lenge denne varte...*



Original KLG mica plug



Innen isolatorutvikling, utforming av elektrode-enden og spesielt innen *elektrode-materialer* kom KLG og LODGE til å bli i en klasse for seg med årene. Men dette var dyre og hånd-lagde tennplugger spesielt lager for flymotorer og racer-motorer med de høyeste ytelser....



## **Blybensin og høy-ytelses-motorer: nye isolator-problemer**

*På 30-tallet begynte høy-oktan bensin med bly-tilsetning å komme på markedet og dermed kunne motor-ytelsen også økes. Det viste seg da at glimer-isolatorene ble angrepet av bly-rester fra forbrenningen og at man var kommet til veis ende med denne teknologien.*

*Bosch og Lodge («Sintox») utviklet helt nye typer isolator-materialer basert på aluminium-oksider (industri-keramikk) og som også var mekanisk meget robust.*

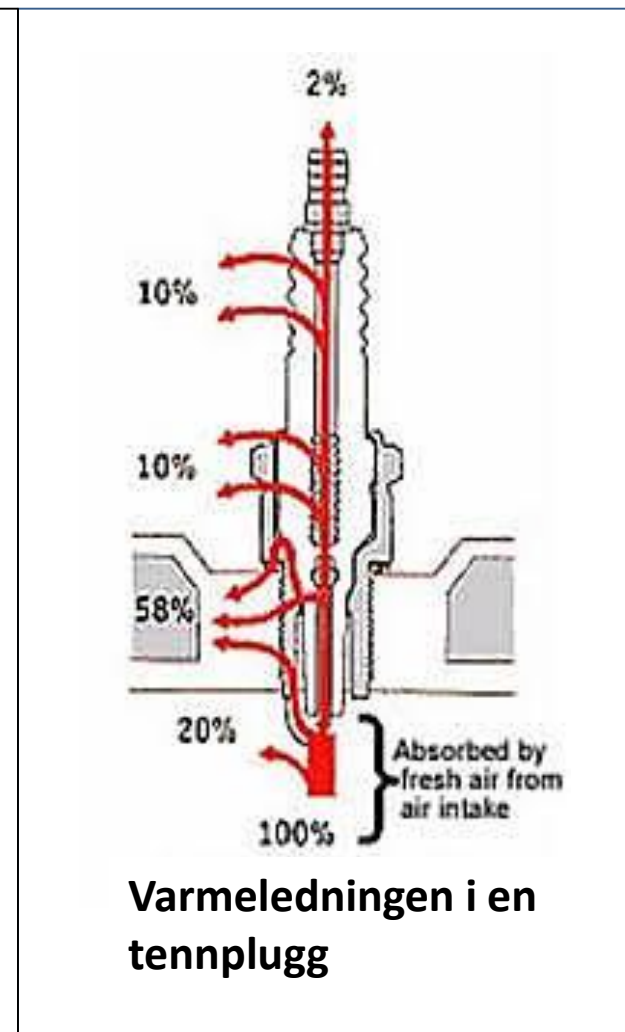
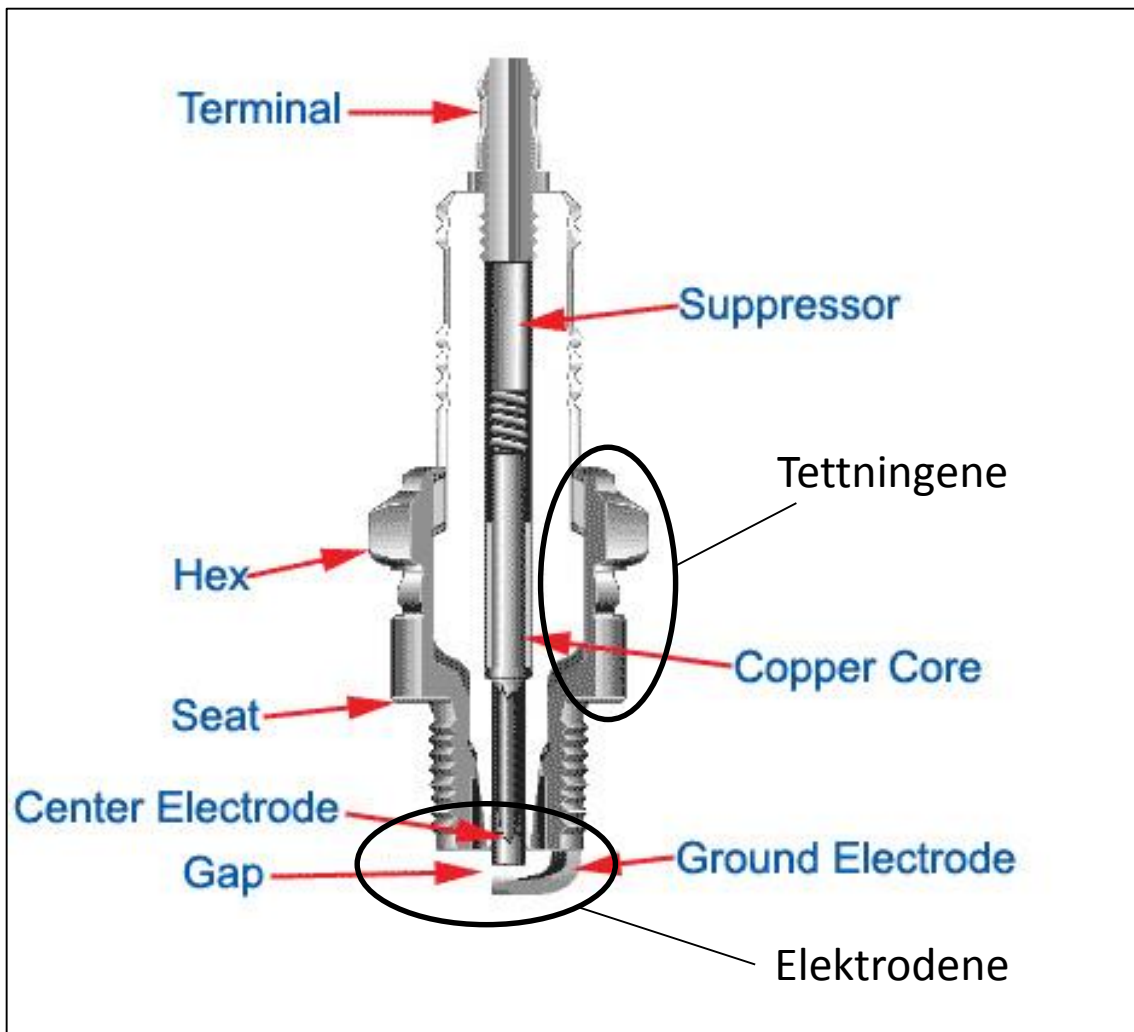
*Dermed forsvant de brune «glimmer-pluggene» mot slutten av 30-tallet og man fikk etter hvert de hvite isolatorene som vi kjenner fra vår tids tennplugg, også for racing.*

*Lodge sitt isolator-material var helt spesielt og ga en rosa farge etter brenningen, noe som gjorde disse pluggene lett kjennelig. KLG tok lisens på isolator-teknologi fra Bosch.*



«Golden» Lodge    «Skjermet» fly-tennplugg

## Om oppbyggingen av en tennplugg:



**Varmeledningen i en tennplugg**

## Om varmeverdi, rense-effekt og slitasje (2):

HVL 080217LMN

Av dette følger at:

En «kald» tennplugg soter og skitner seg lett til på del- og lav belastning, og fungerer derfor best under langvarig høy belastning

En «varm» tennplugg brenner bort belegg og sot, men den fører fort til erosjon av selve elektrodene og også skade på isolator-nesen ved mye høy belastning.



Derfor passer «varme» tennplugger best til forsiktig kjøring og kalde plugger best til hardkjøring (i samme motoren). I Norge ble derfor bilmotorer utstyrt med ett trinn varmere tennplugger enn på kontinentet....

Varme verdien er gjerne uttrykt ved en tallkode i selve tennplugg-betegnelsen, der et lavt tall, 5...6, tyder på en kald og et høyt tall 8...10 på en varm tennplugg.

## **Elektrodeutviklingen:**

HVL 080217LMN

**Hovedproblem:** - avbrenning (erosjon) av elektrodene, gir kort levetid

**Vanlig avhjelp:** flere store og kraftige masse-elektroder

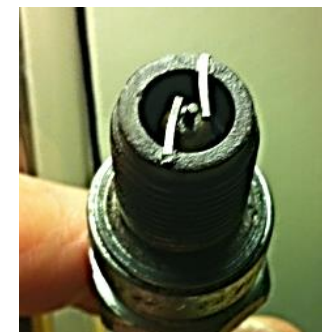
Gnisten springer alltid over på den korteste avstanden, - selv med flere elektroder får man likevel bare en gnist, men den flytter seg hele tiden til elektroden med det korteste «gapet» (kalles derfor «glide-gnist» og fordeler til en viss grad erosjonen på alle elektrodene...)

Videre: Flere store side-elektroder har dårlig renssevne, de samler opp belegg og sot og blir dårlig om-spylt og kjølt av bensin-blandingen....



**KLG og Lodge's alternative metode:**

- tynne skarpe elektroder gir lettere overslag («gnist»)
- slanke sideelektroder «fanger» opp mindre varme, de holder seg lettere ren og gir en vesentlig mer pålitelig gnist...  
KLG foretrakk sogar bare en tynn sideelektrode, og da av beste material-kvalitet (men Rolls-Royce insisterte på to...)





## Elektrodeutvikling (2):

HVL 080217LMN



KLG og Lodge startet på 30-tallet utvikling av slike «fine-wire» elektrode tennplugger først for flymotorer og senere for racing. Spesielt var de dyktig på **metallurgien**, de var de første med platina-elektroder, gjorde banebrytende arbeid ifm å lodde / sveise disse til selve plugg-hylsen. KLG gikk videre og satset på **elektroder av iridium..**(for flymotorene) da dette metallet hadde enda bedre motstandsevne mot gnisterosjon enn selv platina.

Samtidig jobbet de med å gjøre tennpluggene mer mekanisk sterk ved å bedre de innvendige tetningene, gjerne med en overfalls-mutter.

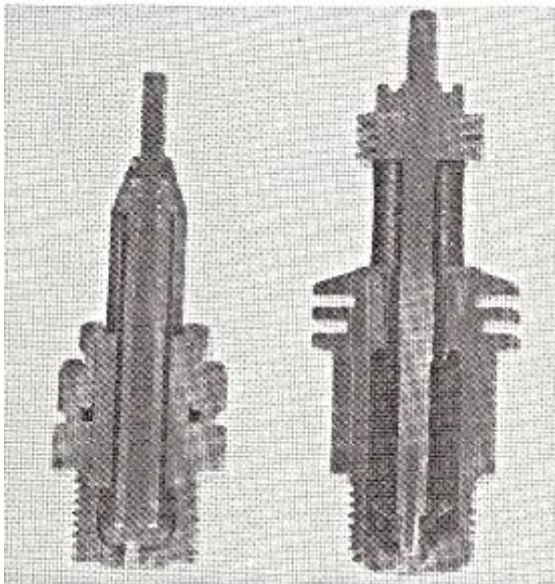
Dessuten satset de på de kompaktere M14-pluggene med lange gjenger, da disse gikk betydelig kaldere og var ikke så mekanisk høyt påkjent som de store grove M18-pluggene som var mest vanlig i flymotorer.

## Elektrodeutvikling (3): kobber i senter-elektroden

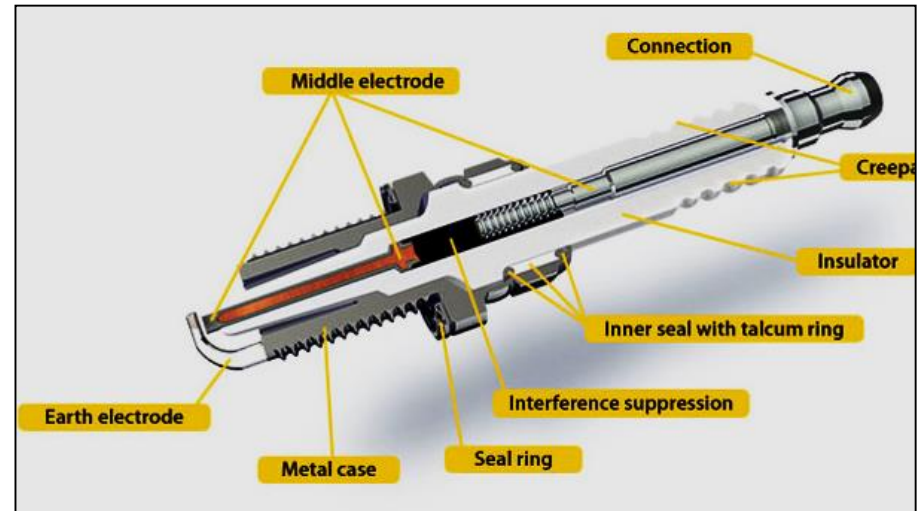
HVL 080217LMN

*Ikke nok med det: For «vanlige» tennplugger utviklet KLG det vi nåtildags kaller «copper-core» teknologi, dvs nikkel-stål elektrodene fikk en kjerne av kobber inni for bedre varmeledning, - for å gi pluggene en «bredere» varmeverdi-karakteristikk.*

*Dette gjorde NGK og andre til en suksess for seg 50 år senere...*



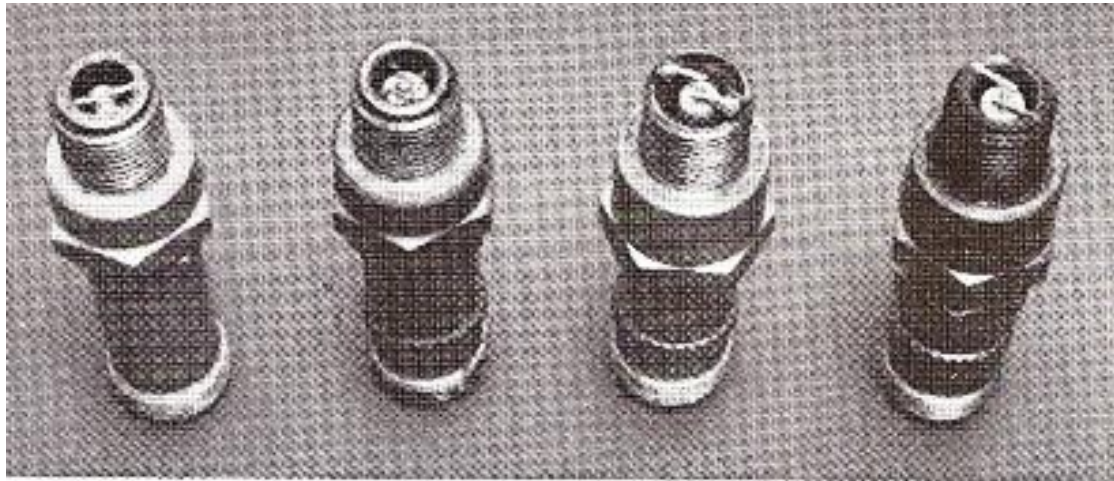
Tidlige «copper-core» plugger  
fra K L G



Moderne «copper-core» tennplugg

## ***Super-plugger til RAF:***

HVL 080217LMN

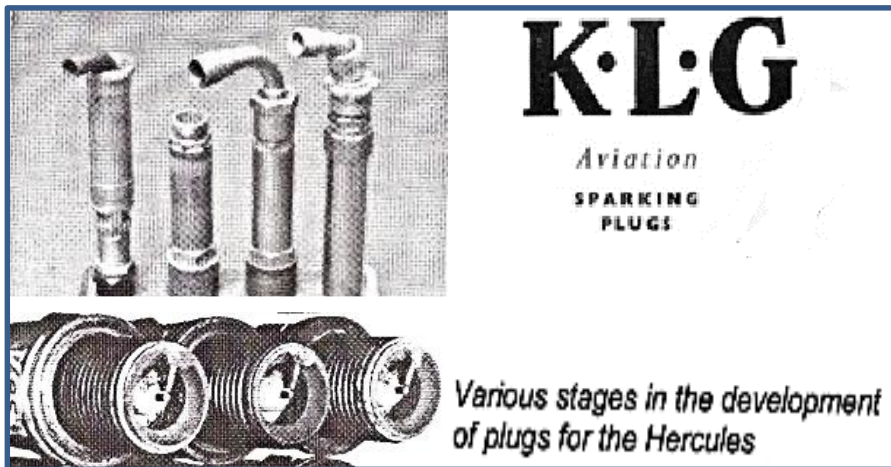


Stages in the development of plugs for Rolls-Royce Merlin engines. ( KLG )

*Utvikling av avanserte tennplugger hang nært sammen med opprustningen av RAF som startet midt på 30-tallet, som innebar nye høy-ytelses motorer og høy-oktan bensin med mye bly-tilsetning. Dette krevde «kalde» plugger, men med god renseevne og som var mekanisk sterk.*

*De nye iridium fine-wire pluggene var et kvantesprang i så måte, og RAF spesifiserte dette og krevde dessuten to leverandører. Dermed ble det en betydelig grad av samkjøring mellom KLG og Lodge hva disse «super-pluggene» angikk.*

# Britiske flymotor tennplugger fra WW 2 (M 14) :



**K.L.G.**  
Aviation  
SPARKING  
PLUGS

Various stages in the development of plugs for the Hercules

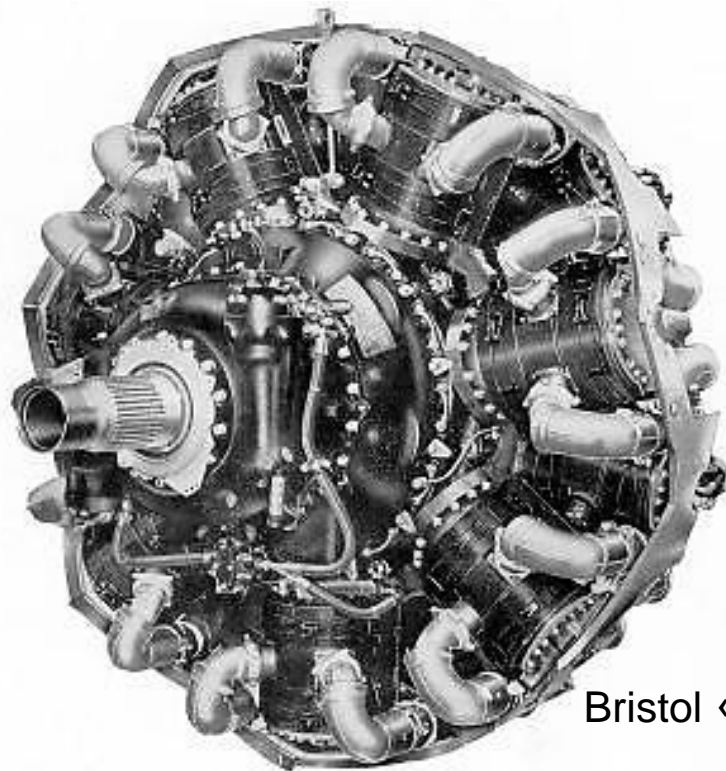


RR «Merlin»

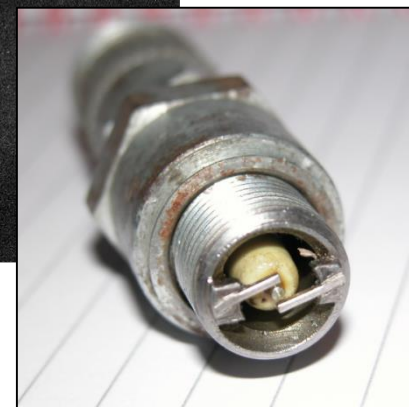


**LODGE**  
*the Spitfire*  
PLUG

LODGE PLUGS LTD., RUGBY.



Bristol «Hercules» R-14



## Typiske US flymotor tennplugger fra WW 2 (M 18):



Wright «Cyclone» R-1820 fra B-17

## President Roosevelt lovpriser Britiske tennplugger !!



### PRESIDENT ROOSEVELT REVEALS

#### BRITISH SPARKING PLUGS SAVE FORTRESSES & CREWS

President Roosevelt, in his Address to Congress in May, 1944, said —

"Since early in 1943 virtually every U.S. Flying Fortress has taken off from British bases with British plugs in each of its four engines."

"It would be impossible to estimate how many thousand U.S. bomber crews may since then have owed their lives to these sparking plugs, but the performance record of the plugs speaks for itself."



**LODGE** are proud to have supplied the needs of Allied Aircraft, from British "SPITFIRES" to American "FORTS"

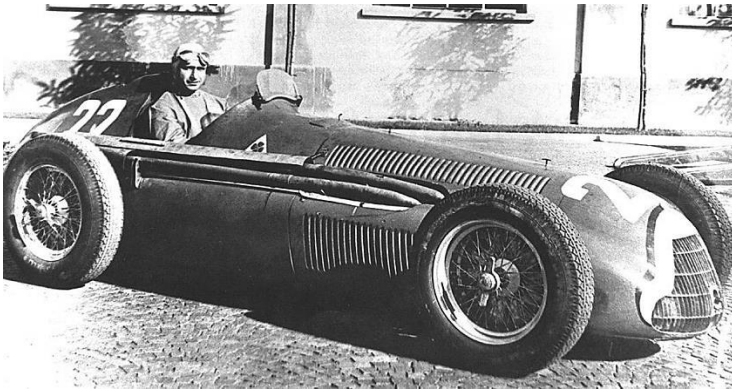
WHOLLY BRITISH!  
Made by Lodge Plug Ltd., Rugby



.... Since early in 1943 virtually every United States Flying Fortress has taken off from British bases with these plugs in each of its four engines. It would be impossible to estimate how many thousand United States bomber crews may since then have owed their lives to these plugs, but the performance record of the plugs speaks for itself.'

## Den moderne tennplugg-teknologien fra krigsårene ble grunnlaget for ny fremgang i fredstid:

På 50-tallet startet ruteflyging over Atlanterhavet med propellfly og stempelmotorer. Avansert tennplugg-teknologi gjorde dette mulig og rimelig driftssikkert. Teknologien var «fine-wire» platina- og iridium, nå også lisensprodusert i USA.



Formel 1 racerbil fra 50-tallet, med kompressor-matet motor drevet på spesial-bensin. De høyeste liter-effektene lå på nærmere 300 HK / liter, - og avanserte tennplugg var en forutsetning for dette !

De siste stempelmotor-drevne flyene i RAF var «Avro Shackleton» marine overvåkningsfly drevet med avanserte RR Griffon-motorer som ga høy ytelse og lang rekkevidde. De avanserte tennpluggene var det siste utviklingstrinnet fra KLG, «bell-mouth» iridium-plugg, og ble betegnet som «the ultimate spark plugs»



## Tennpluggutviklingen siden 2. WW (2):

- ❑ De nye bilmotorene etter krigen var vesentlig mer avansert og «krevende» enn før:
  - Toppventilert
  - Høyere turtall
  - Høyere kompresjon
  - Høyere literytelse

På den annen side gjorde de nye motorene tennpluggenes oppgave lettere gjennom:

- Bedre og jevnere blandingsforhold pga bedre forgasser- og manifold design («fall-strøm»)
- Lavere smøreolje-forbruk, osv

❑ Tennpluggene bidro også til denne utviklingen gjennom:

- forbedret keramikk-isolator og –tettninger
- eksponerte elektroder, «J-gap», for bedre tenning
- nikkel-stål elektroder som tålte høyere temperaturer

Men: en viss form for «tennplugg vedlikehold» var fortsatt nødvendig....

Det var mye snakk om «riktig varmeverdi» til den gitte anvendelsen, og dette ble etter hvert enklere gjennom innføringen av «copper core» teknologien, også «double copper»



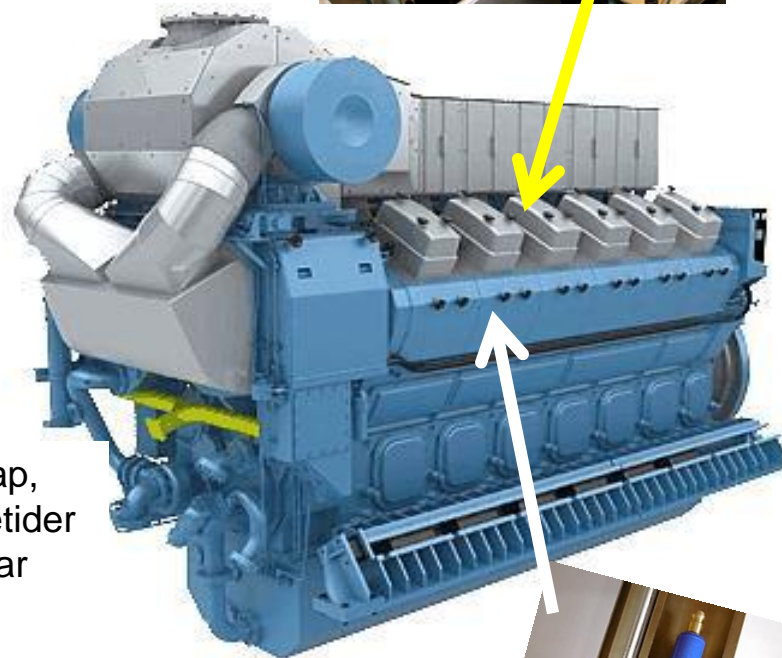
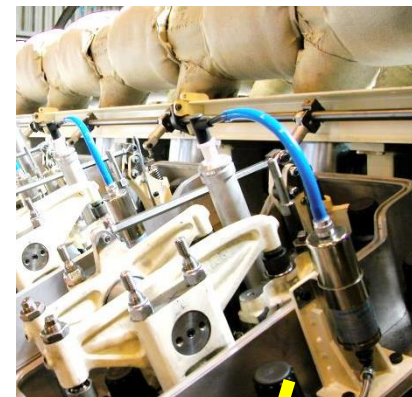


## **Behovet for avanserte tennplugger gjenoppstår !**

Pga miljøbevisstheten i den vestlige verden og naturgassens utbredelse, gjør **gassmotor-utviklingen** meget store fremskritt fra **ca 1990** både til kraft-varme og også marine anvendelser. Dette er *Otto-motorer med tennplugg* og ytelse opp mot **1000 HK / sylinder**, og dermed oppstår på nytt et strekt markedspress etter avanserte tennplugger som både kunne tåle meget høye belastninger og samtidig gi lange levetider.

**LØSNING:** → **iridium-teknologien** fra 2. WW kommer på banen igjen etter modell av KLG !

En moderne *Iridium industri-tennplugg* (J-gap, M18). Slike plugger oppnår i dag typisk levetider på 2000t og mer på belastninger rundt 20 bar pme. De trykktestes til ca 700 atmo.



Forkammer for bedre tenning av magre blandinger..



## **Referanser:**

- Champion Spark Plug Engineering Manual
- Bosch, div. underlag
- Div. bilder og figurer lastet ned fra Internett
- «The vital spark» av Keith Gough, RR Hertiage Thrust
- Private notater fra Keith Gough
- Egne notater og figurer