



Thermodynamics, Hans Alten 14-10-1999

Report: TD-103

Thermodynamische Untersuchung eines 4-Taktmotors mit Nachexpansion (5-Takter, nach Prinzip von Hr. Schmitz)

Verteiler: *Mario Illien (ILMOR)*
Hr. G. Schmitz (J&S AG, Belgien)

EINLEITUNG:

Dieser Bericht behandelt die Ergebnisse einer Vergleichsstudie zwischen einem konventionellen freisaugenden 4-Zylinder 4-Takt Motor und einem 3-Zylinder "5-Taktmotor" mit Turboaufladung. Beide Bauarten werden mit OTTO-Kraftstoff betrieben und haben handelsübliche Saugrohr-Einspritzanlagen. Die Funktion des 5-Taktmotores basiert auf der Idee von Hr. Schmitz. Die beiden äusseren Zylinder der 5-Taktmaschine arbeiten wie konventionelle 4-Takter. Ihre Abgase werden abwechselnd dem mittleren Zylinder zwecks Nachexpansion zugeführt. Die Leistungskontrolle wird in erster Linie mittels Ladedrucksteuerung durchgeführt, im Niederlastbereich muß auch hier mit Drosselorganen gearbeitet werden.

Der Grundgedanke zu diesem Prinzip ist der Versuch, durch drosselfreien Betrieb bei hoher spezifischer Motorleistung und durch Rückgewinnung von Abgasenergie mittels Nachexpansion einen Verbrauchsgewinn von mindestens 20 % zu erreichen.

Ziel der hier beschriebenen Untersuchung war es, mit Hilfe der Motorprozeß-Simulation das Leistungs- und Verbrauchspotential des 5-Taktprinzips abzuschätzen bzw. mit einem 4-Taktmotor zu vergleichen. Als Basis diente ein 1.2L 4-Ventil-4-Taktmotor mit ca. 100PS/6000rpm. Der mit maximal 3.2 bar Ladedruck arbeitende 5-Taktmotor hat ein Gesamtvolumen von 955cm³. Die reinen Arbeitszylinder haben ein Hubvolumen von 2 x 150cm³. Beide Motoren sind mit Katalysatoren ausgestattet. Die Berechnungen wurden unter Einbeziehung aller Ein- und Auslaßröhrenwerke durchgeführt, die untersuchten Drehzahlen waren 2000 und 4000 U/min. Für beide Motoren und Drehzahlen wurde folgendes transientes Lastkollektiv gewählt (Drehzahl konstant):

Vollast zwecks Einschwingen der Rechenergebnisse - rasche Drosselung auf ca. 50 bis 60 % Leistungsabgabe - langsame Drosselung auf 2 bar Mitteldruck - relativ rasches Hochbeschleunigen auf Vollast und Verweilen (ca. 40 Zyklen). Zyklus-Gesamtdauer: 440 Motorumdrehungen oder 13.2 Sekunden bei 2000 U/min.

Alle erforderlichen Randbedingungen und Annahmen basieren auf Erfahrungen und stellen keine endgültigen (optimierten) Größen dar.

Ohne detaillierte Angabe aller Eingabegrößen und Randbedingungen werden die errechneten Leistungs- und Verbrauchswerte dargestellt und kurz diskutiert. Die wichtigsten Ergebnisse sind in den Abbildungen 1 bis 16 dargestellt.

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Berechnung bei 2000 U/min startete bei Vollast mit 8 bzw. 15 Arbeitsspielen zur Stabilisierung und Einschwingen der ersten Rechenergebnisse. Anschließend wurde beim 4-Taktmotor innerhalb von 8 Motorzyklen die Drosselklappe soweit geschlossen, bis sich die Motorleistung auf rund 14 PS (5 bar Mitteldruck im 4-Taktmotor) einstellte. Durch weitere Drosselung innerhalb der nächsten 260 Umdrehungen (dT=7.5 sec) wurde die Motorleistung nochmals gesenkt bzw. ein Mitteldruck von ca. 2 bar effektiv eingestellt.

Zur Erfassung des Ansprechverhaltens beim einem Beschleunigungsvorgang wurde binnen 32 Motorzyklen (dT~2 sec) die Drosselklappe voll geöffnet.

Dieser Transientvorgang sollte auch für den 5-Takter in den gleichen Zeitintervallen nachgefahren werden, ist aber aus Trägheitsgründen ohne Zusatzmaßnahmen nicht möglich. Eine rasche Absenkung der Motorleistung - durch schnelles Öffnen des Wastgates - konnte nicht dargestellt werden, der 15 PS Lastpunkt stellte sich erst nach ca. 70 Motorzyklen ein. Der 2000/2bar Lastpunkt konnte - erwartungsgemäß - durch reine Ladedruckabsenkung nicht erreicht werden, eine konventionelle Drosselung im Einlaßsystem mußte aktiviert werden.

Beschleunigungsvorgang: Trotz Freigabe der Drosselung und Schließen des Wastgates ist die Energie im Auspuff zu niedrig, um den Motor wieder auf vollen Ladedruck bzw. auf ursprüngliches maximales Drehmoment zu bringen.

Die Berechnung bei 4000 U/min wurde nach dem gleichen Prinzip wie bei 2000 U/min durchgeführt. Lediglich die erforderlichen Drosselungsbeiwerte wurden dem höheren Luftbedarf entsprechend angepaßt.

Verbrauchsvergleich:

Um die beiden Motoren vergleichen zu können, muß der errechnete spezifische Verbrauch bei gleicher Leistungsabgabe herangezogen werden. Im **Niederlastbereich (~10 PS)** errechnete sich für den

4-Takter... ca. 450 gr/kWh.

5-Takter... ca. 350 gr/kWh. bzw. ein Verbrauchsvorteil von etwa **22 % !**

Für die **Vollast** werden die Ergebnisse für 55 PS herangezogen:

4-Takter ca. 250 gr/kWh,

5-Takter ca. 200 gr/kWh, bzw. **20%** weniger Verbrauch!

Die errechneten Verbrauchswerte über der Leistung sind in den Bildern 15 und 16 festgehalten.

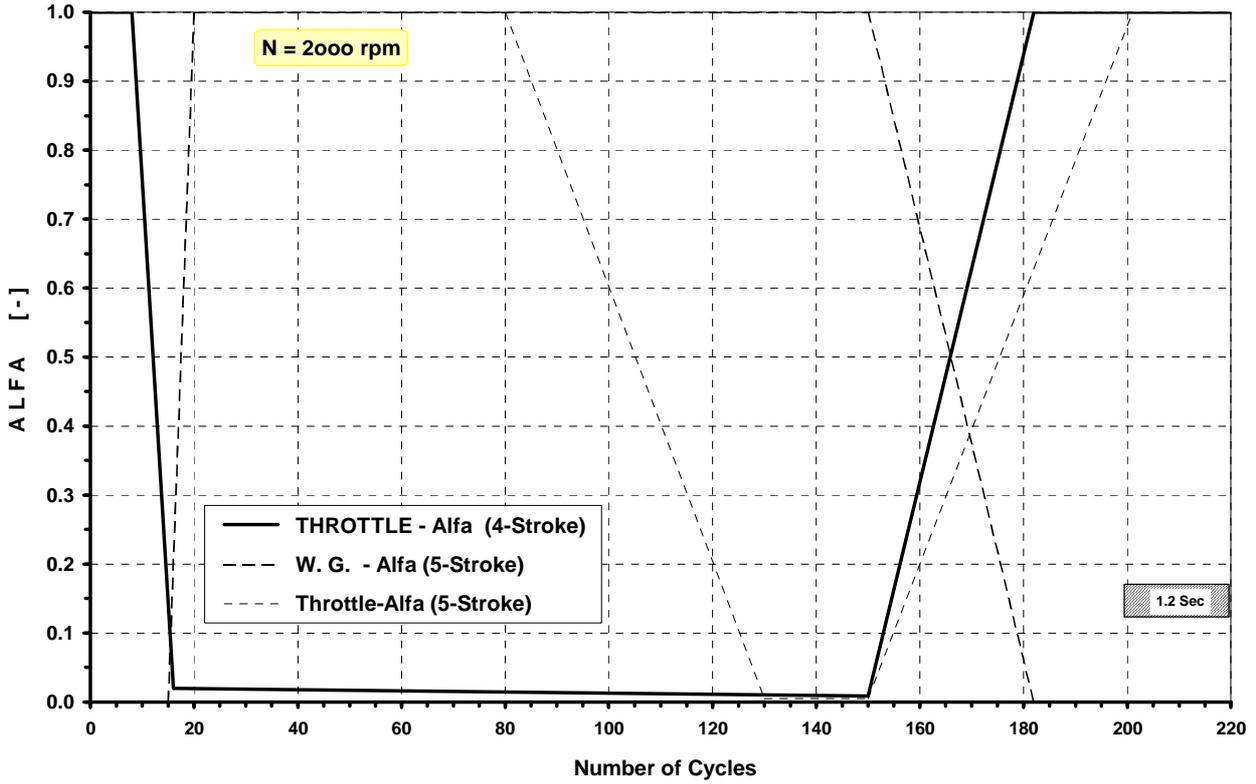


Figure 1

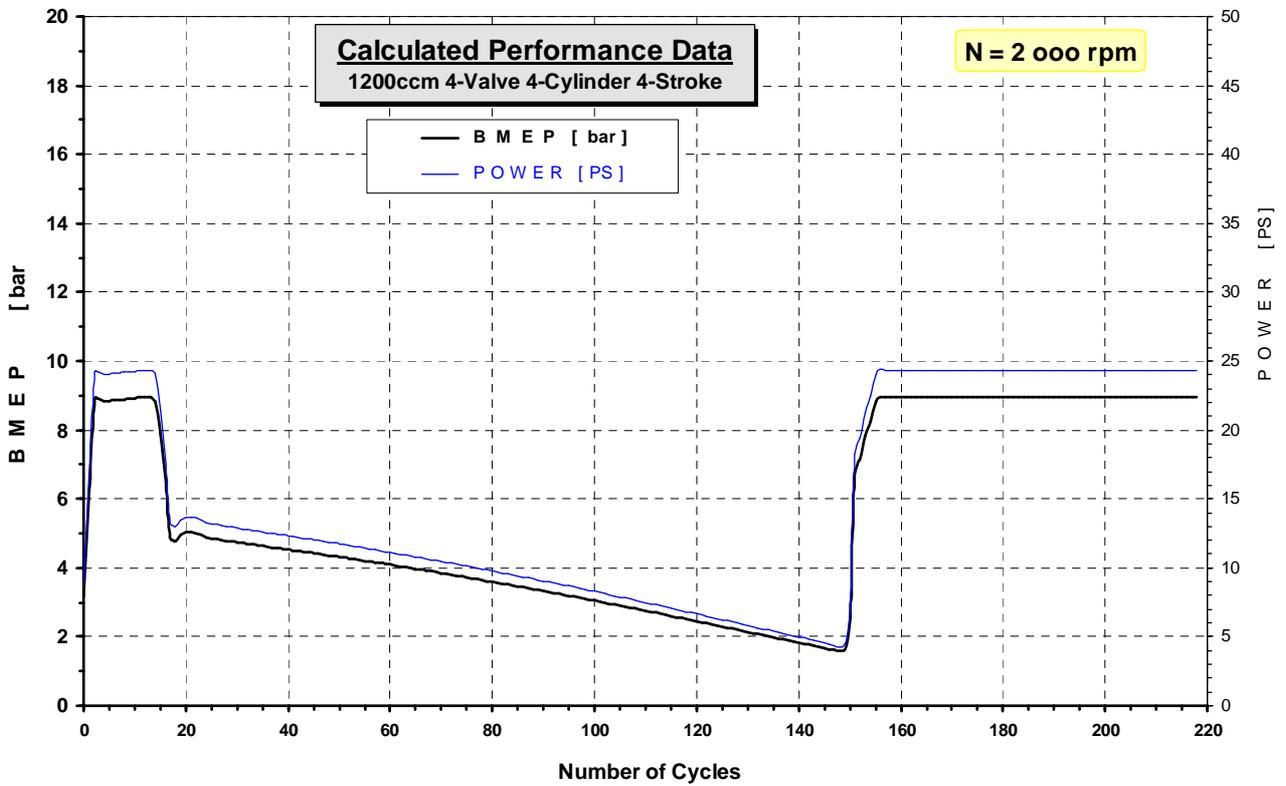


Figure 2

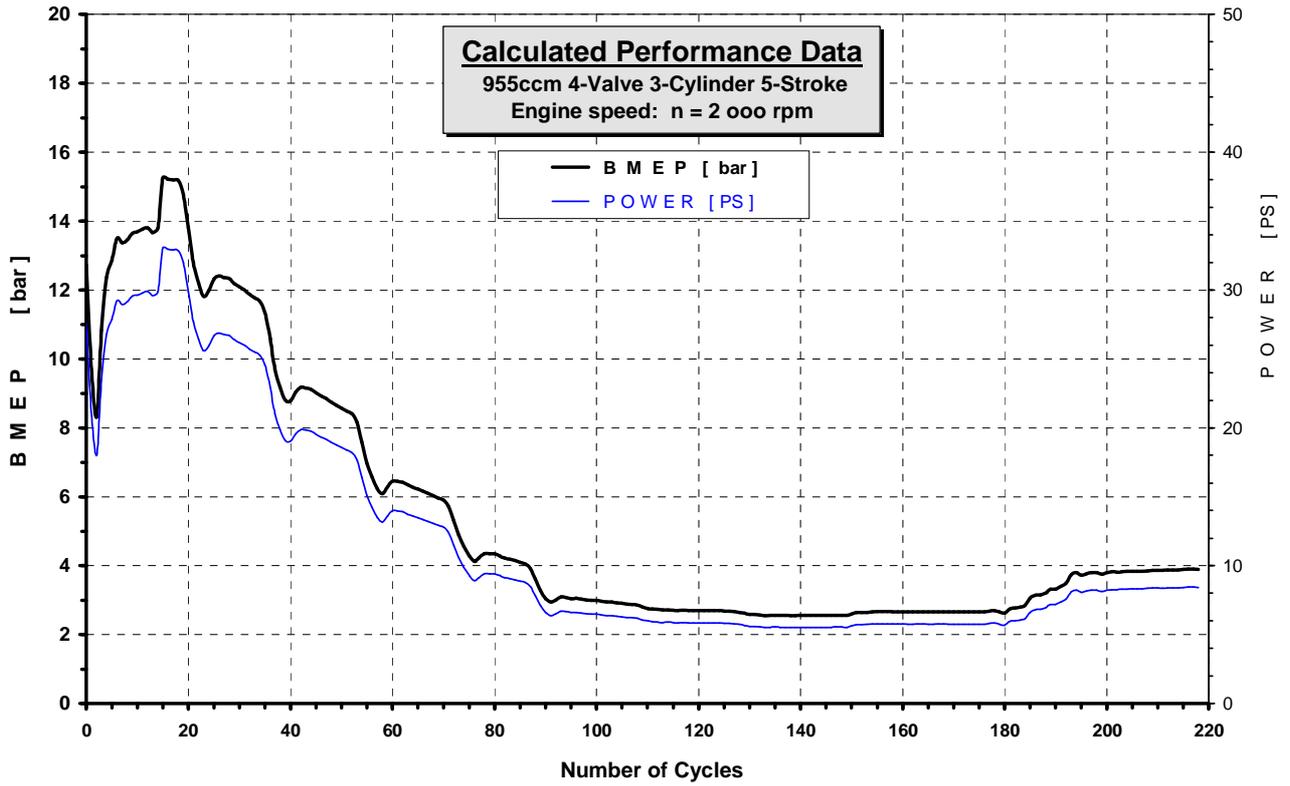


Figure 3

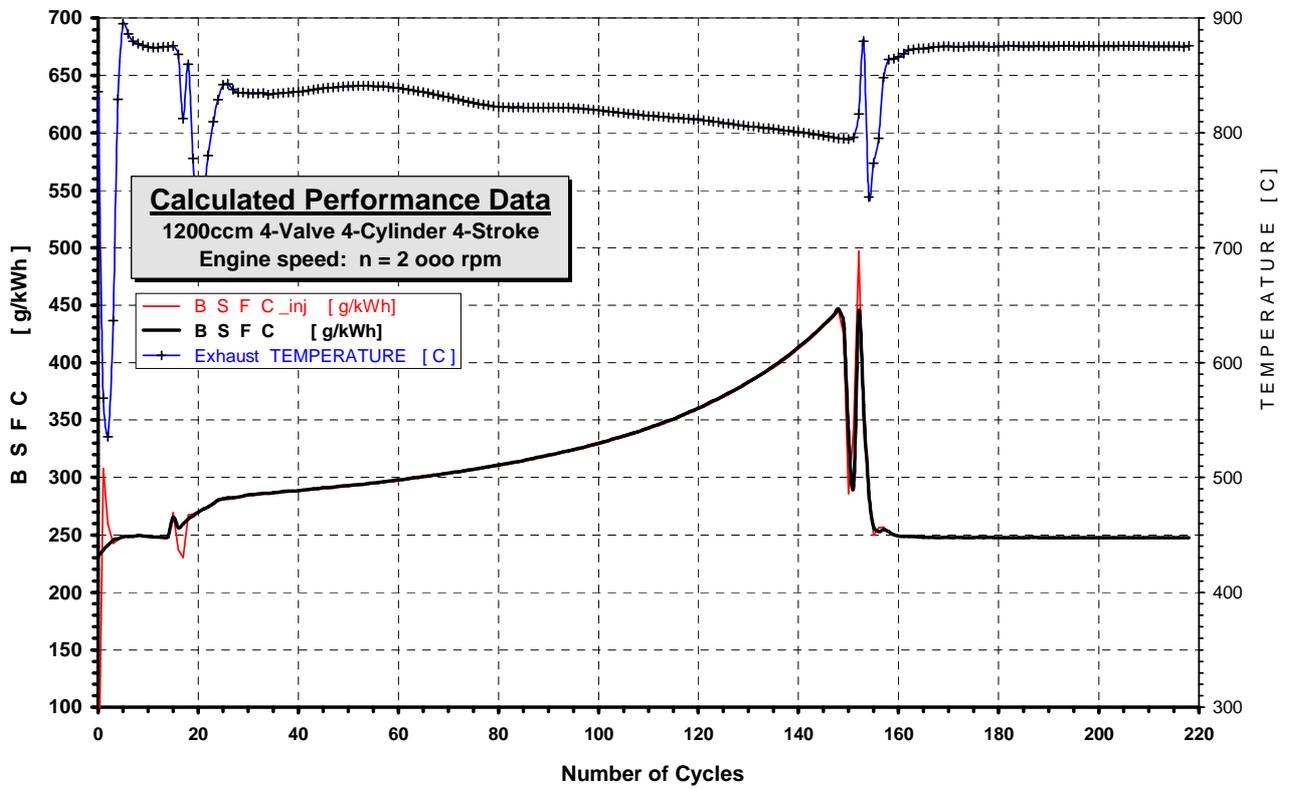


Figure 4

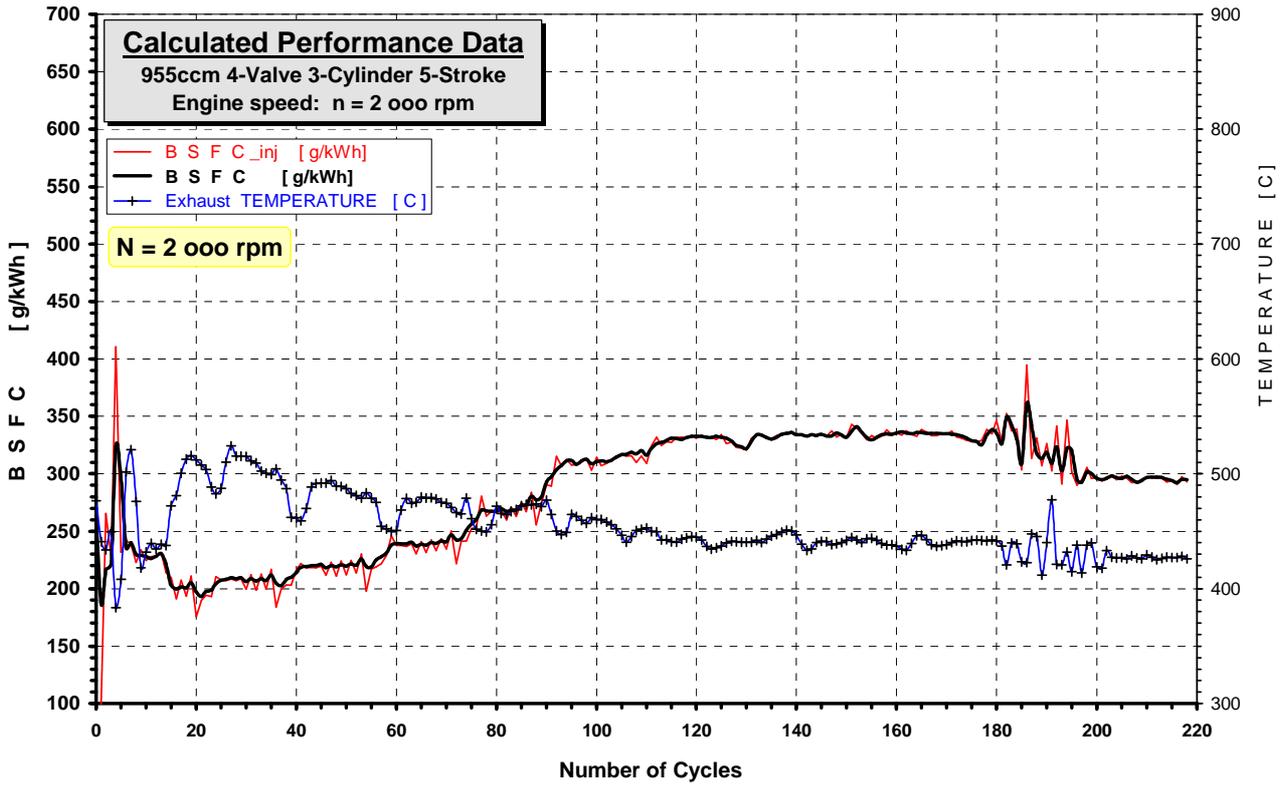


Figure 5

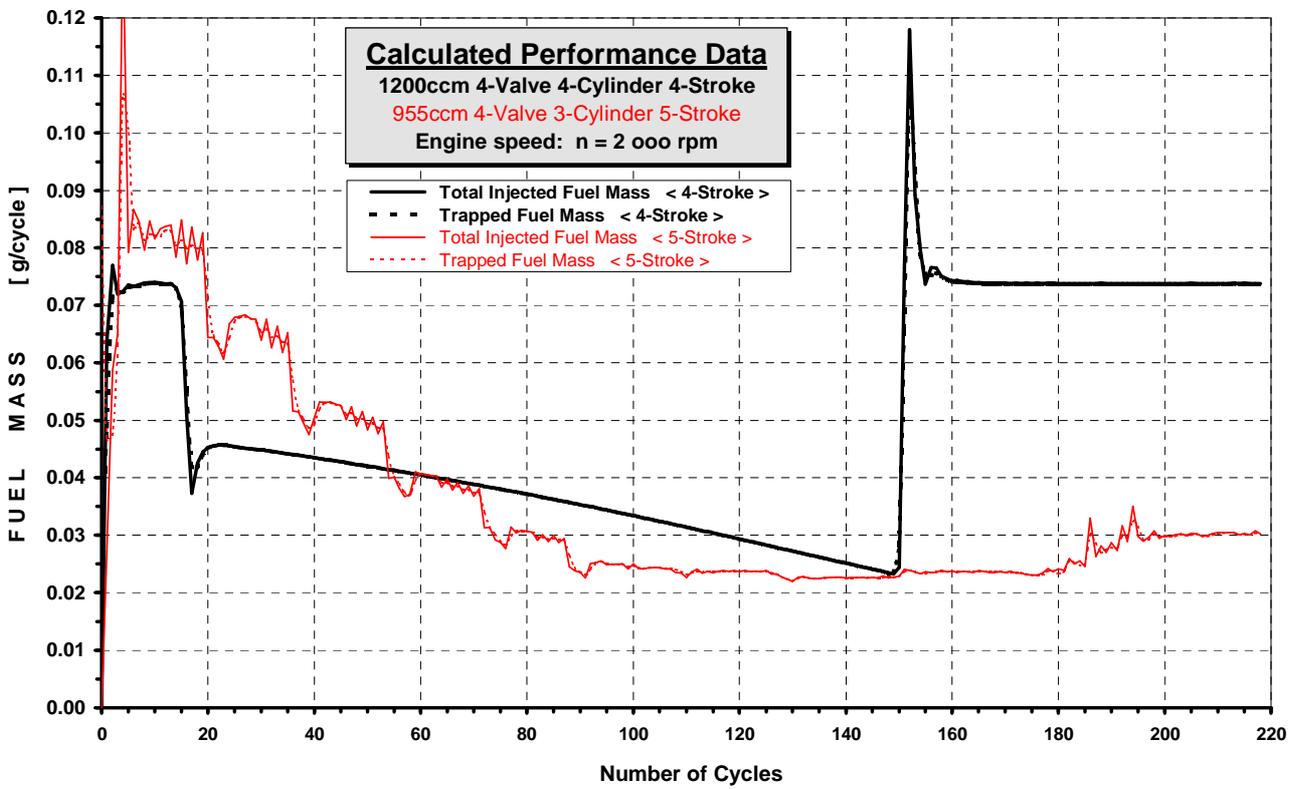


Figure 6

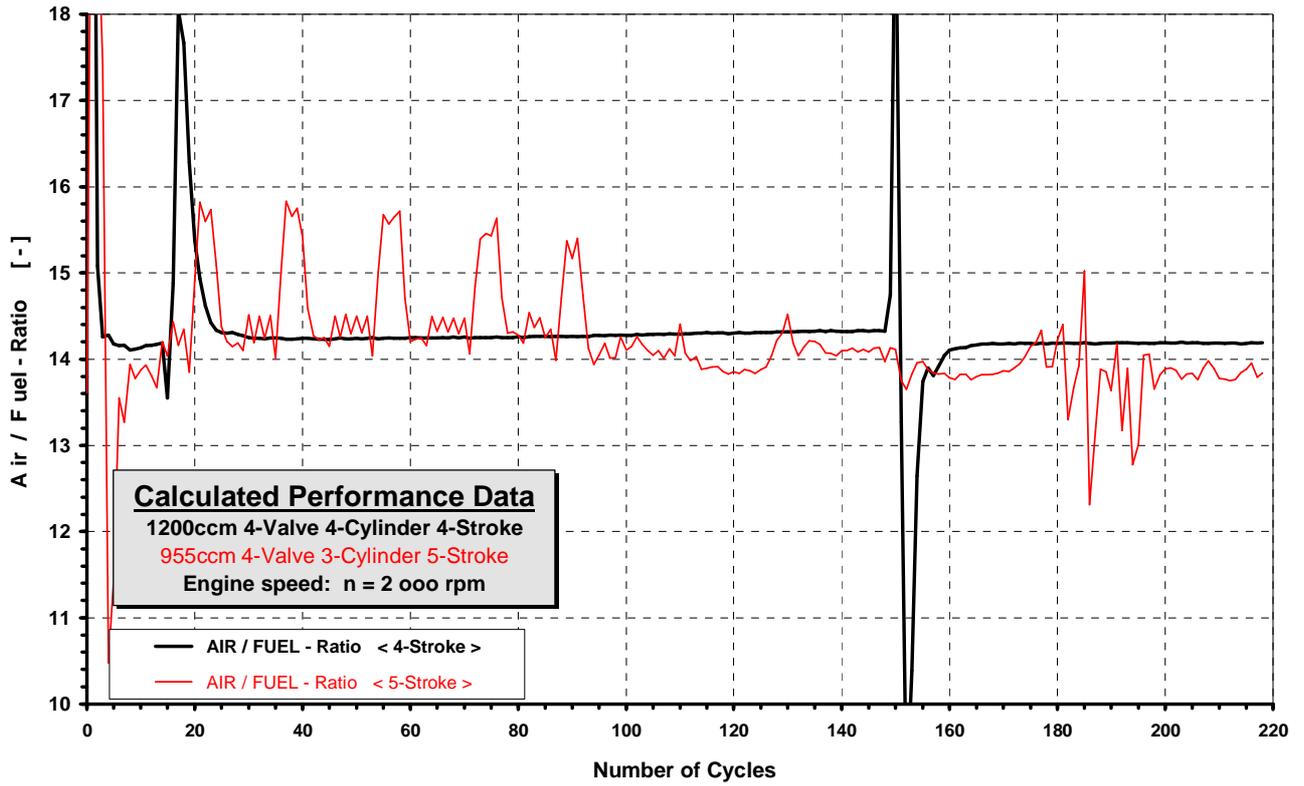


Figure 7

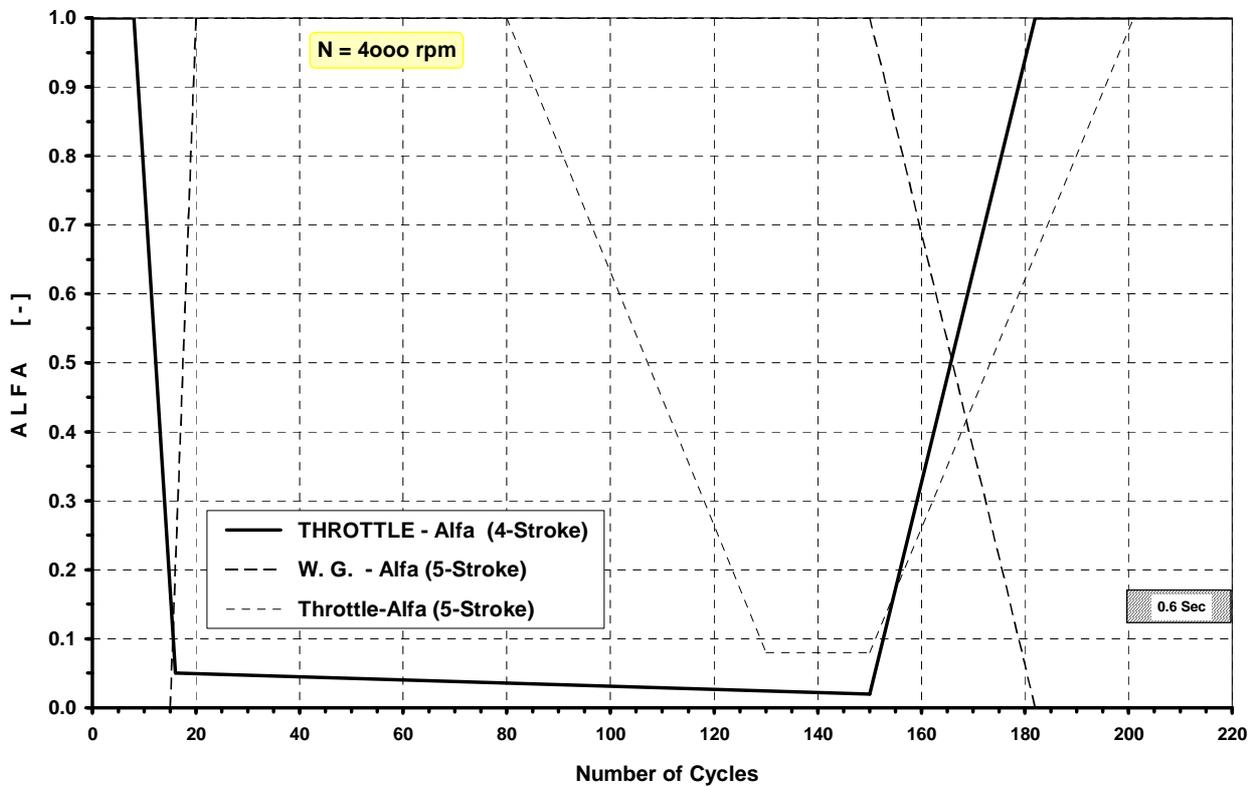


Figure 8

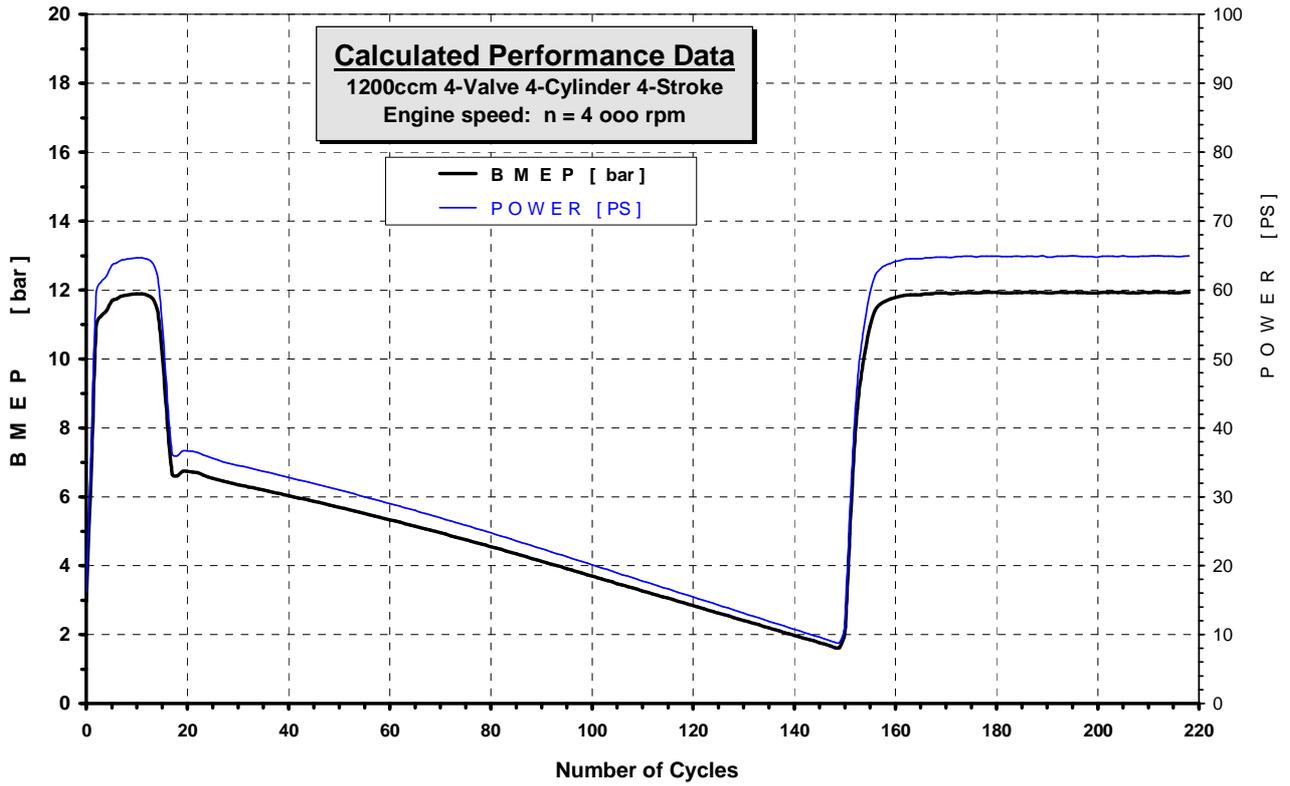


Figure 9

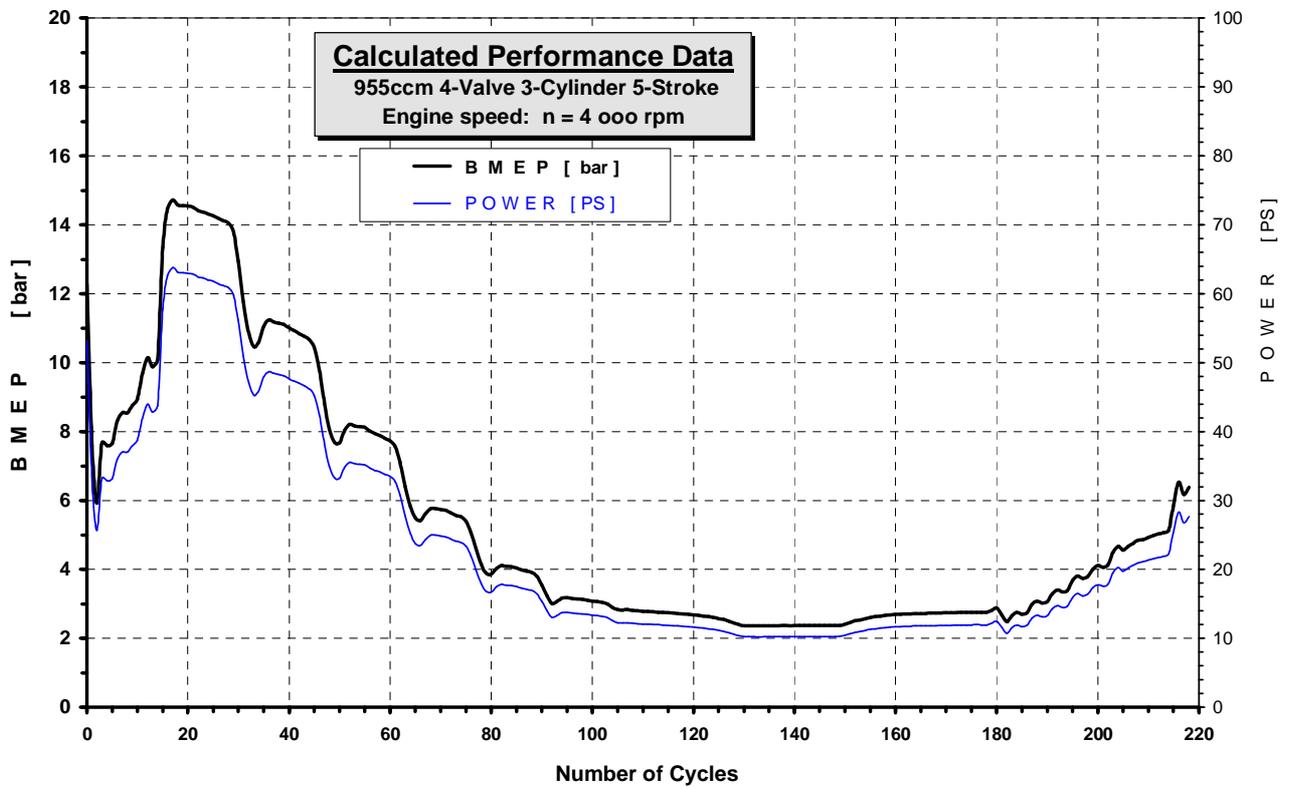


Figure 10

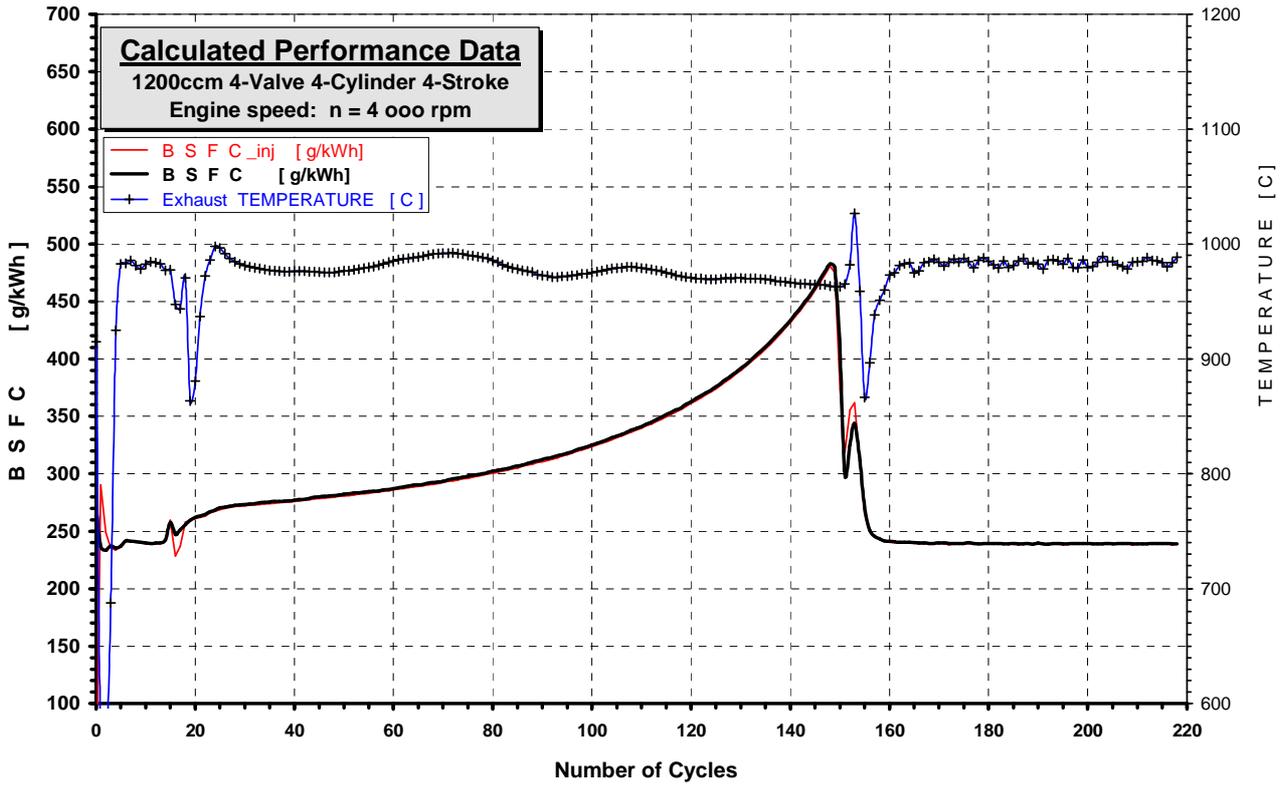


Figure 11

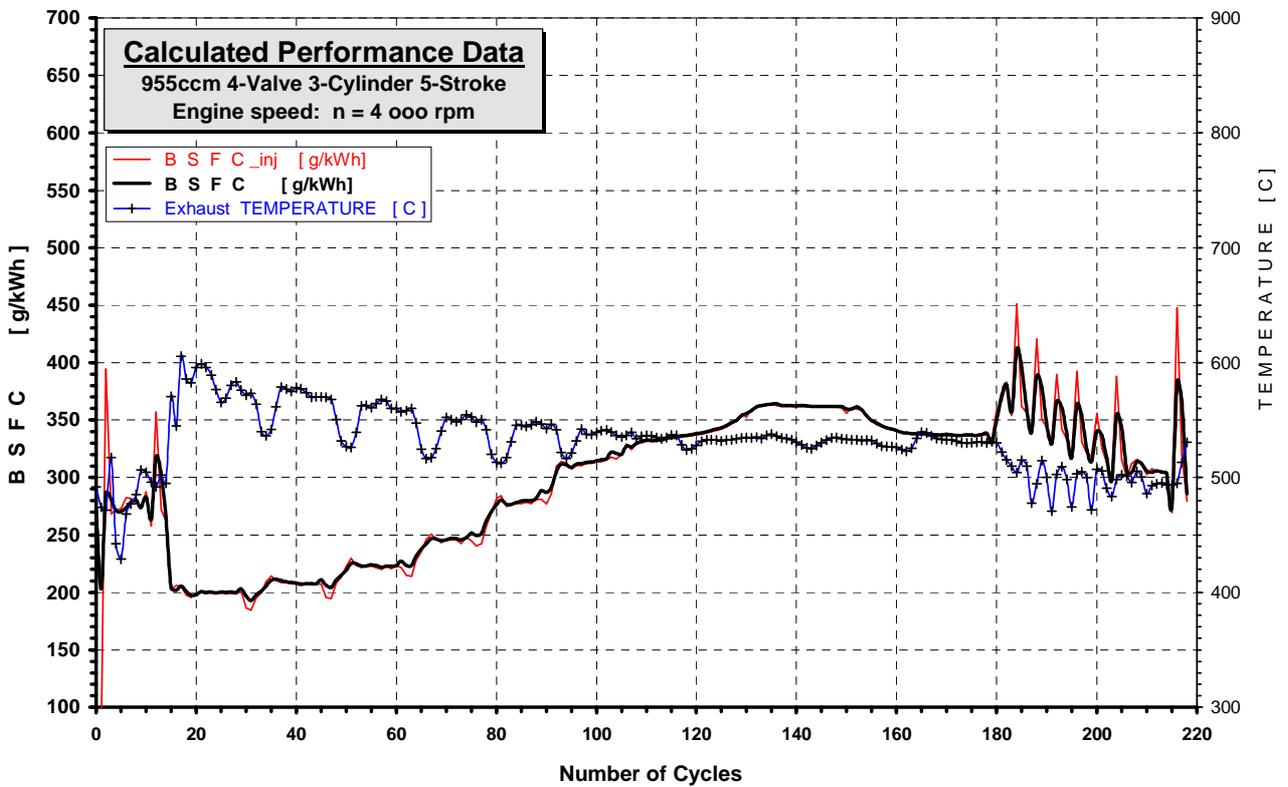


Figure 12

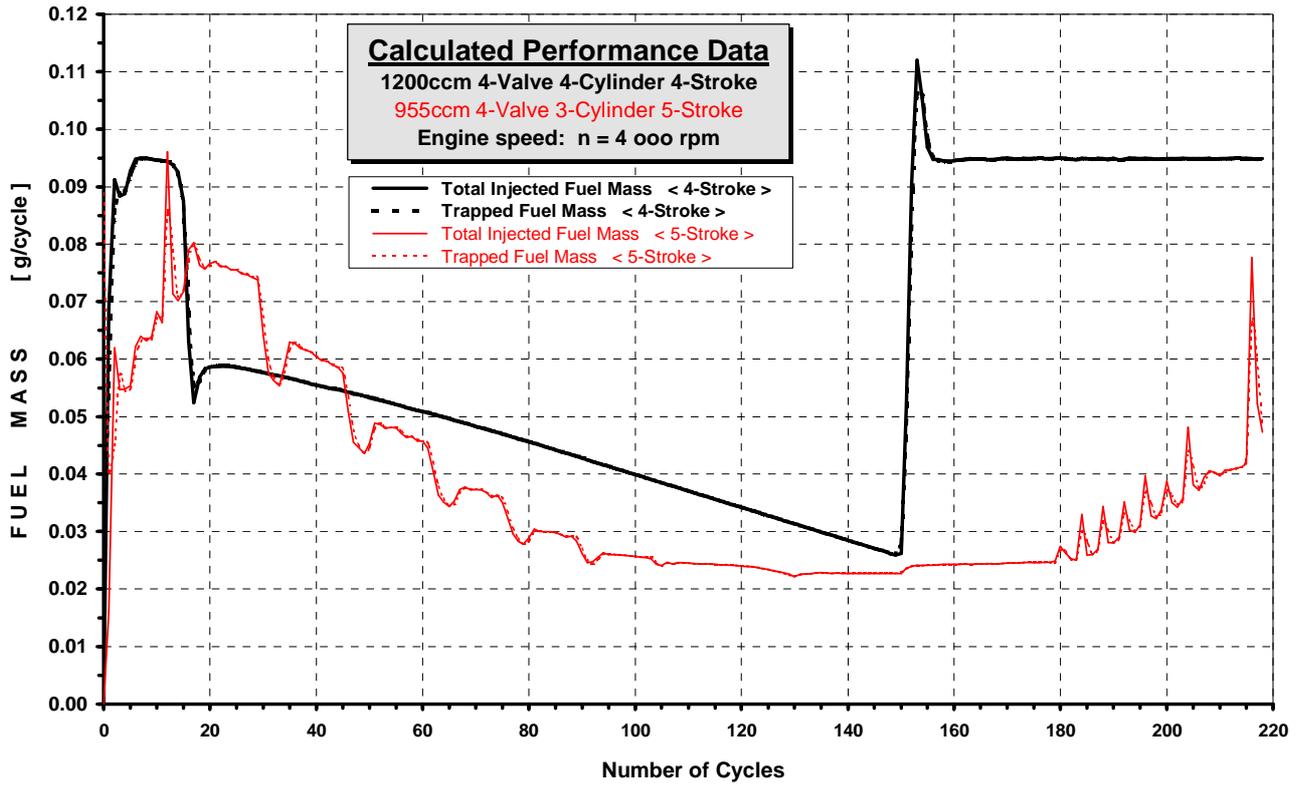


Figure 13

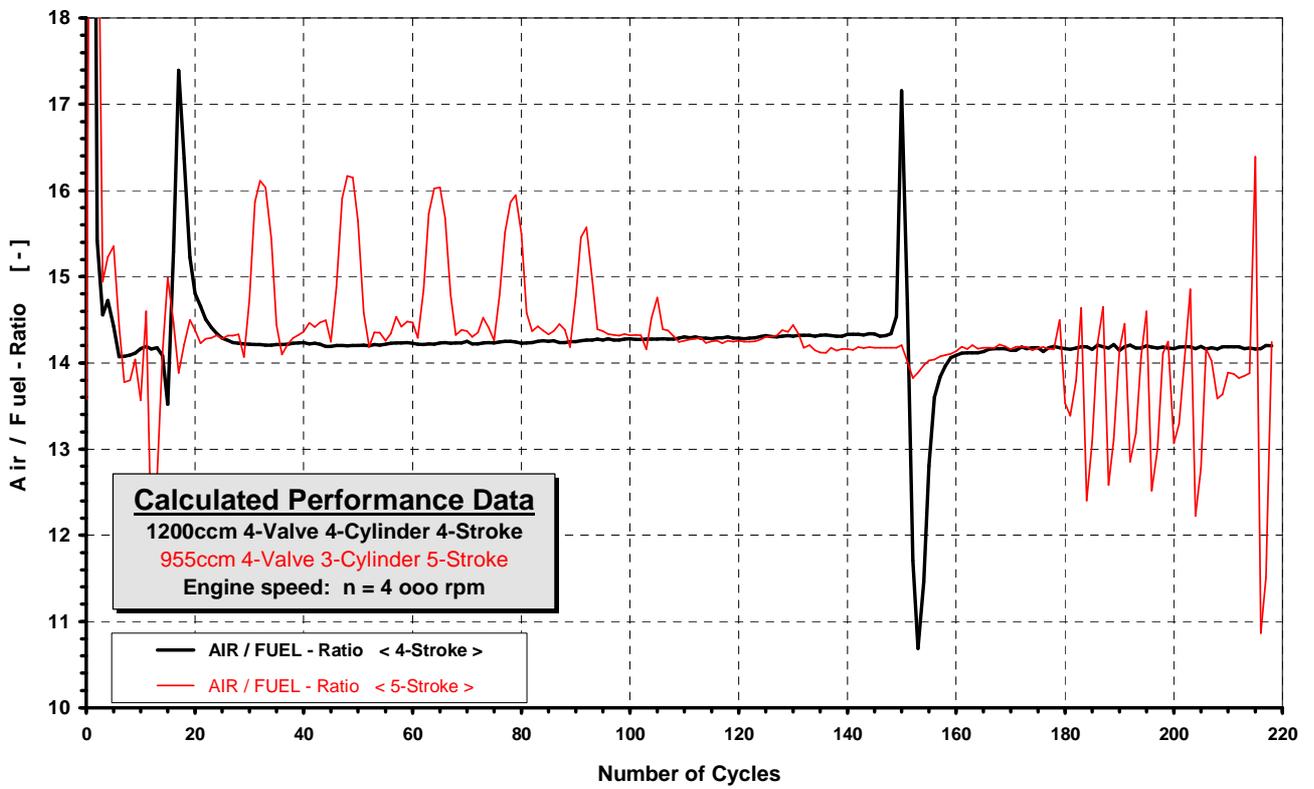


Figure 14

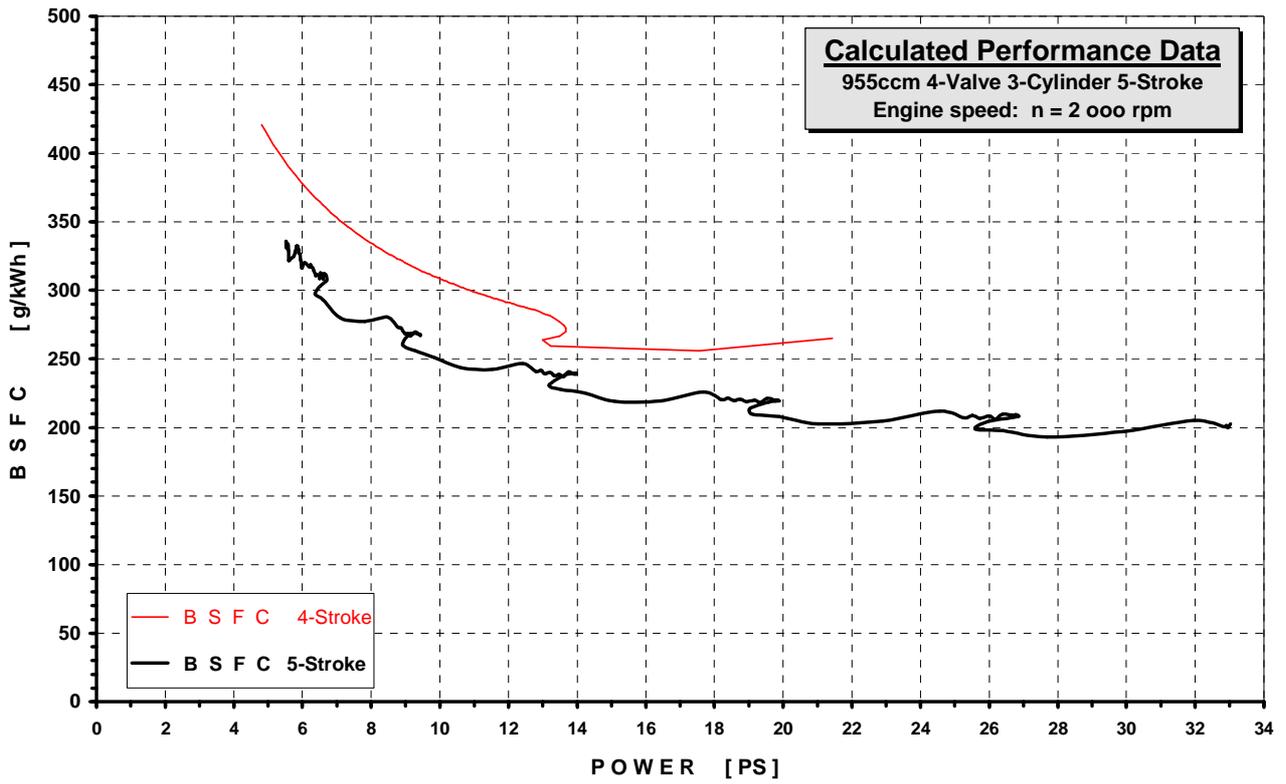


Figure 15

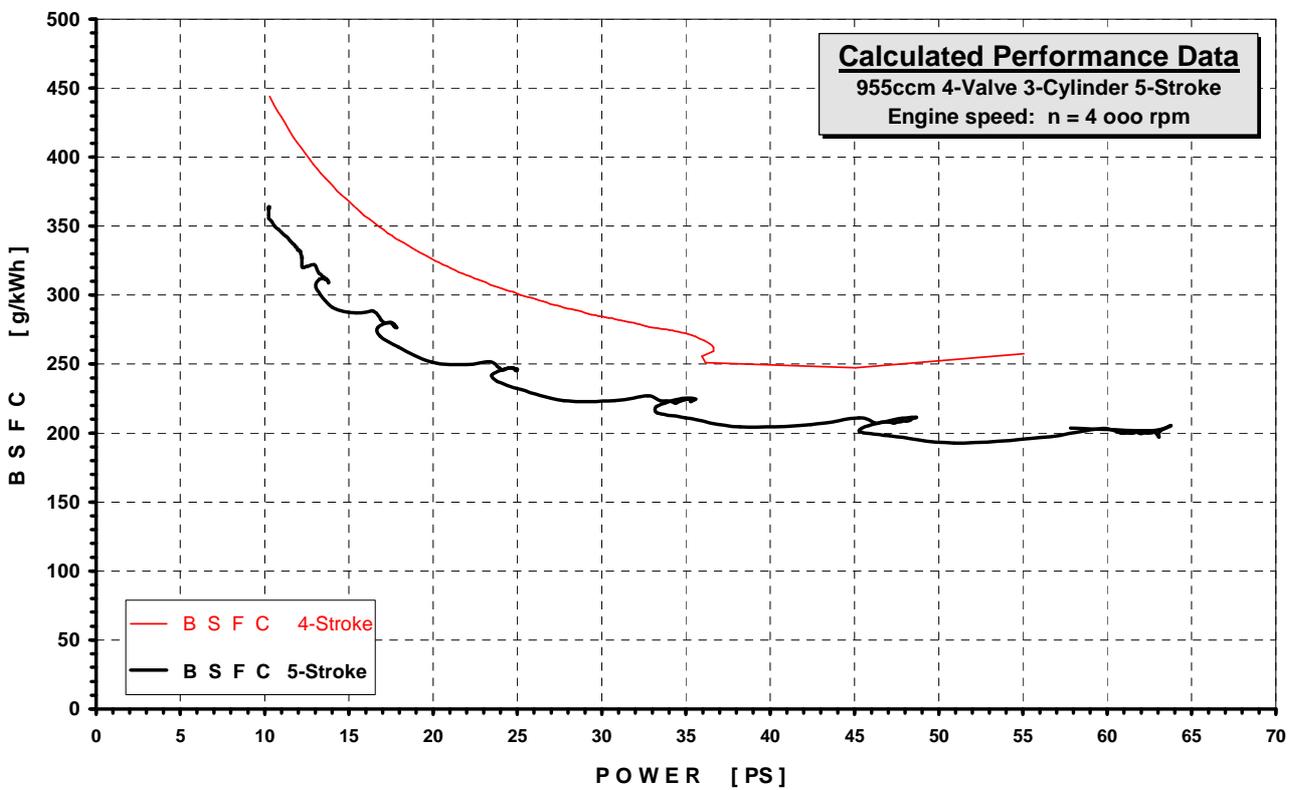


Figure 16