



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Ψηφιακός Πολιτισμός, Έξυπνες Πόλεις, IoT και Προηγμένες Ψηφιακές Τεχνολογίες»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Ψηφιακό Δίδυμο Αυτοκινήτου Automotive Digital Twin
Ονοματεπώνυμο Φοιτητή	Αθανάσιος Μπαϊρακτάρης
Πατρώνυμο	Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου	ΨΠΟΛ/ 2313
Επιβλέπων	Εμμανουήλ Σκόνδρας, Μεταδιδακτορικός Ερευνητής

Ημερομηνία Παράδοσης **Ιούλιος 2025**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Δημήτριος Βέργαδος
Καθηγητής

Παναγιώτης Τσάκωνας
Ε.ΔΙ.Π

Εμμανουήλ Σκόνδρας
Μεταδιδακτορικός
Ερευνητής

Μπαϊρακτάρης Γ. Αθανάσιος

Copyright © 2025 Μπαϊρακτάρης Γ. Αθανάσιος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Περίληψη:

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη και αξιολόγηση ενός Ψηφιακού Διδύμου (Digital Twin) για τον κινητήρα ενός οχήματος τύπου SUBARU Forester XT (2005). Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των δυνατοτήτων που προσφέρει η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων στην παρακολούθηση, πρόβλεψη και βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός συστήματος εσωτερικής καύσης, καθώς και στην υποστήριξη της διαδικασίας συντήρησης.

Στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο της έννοιας των Ψηφιακών Διδύμων, οι κατηγορίες και τα επίπεδα ωριμότητας τους, καθώς και οι εφαρμογές τους στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διάκριση μεταξύ προσομοίωσης και DT, καθώς και στις τεχνολογικές προεκτάσεις που ενσωματώνουν τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το πειραματικό μέρος της εργασίας το οποίο περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων μέσω του διαγνωστικού συστήματος OBD-II, αξιοποιώντας τον εξοπλισμό Subaru Select Monitor 4 (SSM4) και καταγράφοντας 57 λεπτά μεικτής οδήγησης. Ακολούθως παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από περισσότερους από 70 αισθητήρες και αναλύθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ORANGE και του αλγορίθμου DBSCAN, με στόχο την ανίχνευση προτύπων, συσχετίσεων και αποκλίσεων στη λειτουργία του κινητήρα.

Τέλος, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των DT ως εργαλείο προγνωστικής συντήρησης και βελτιστοποίησης της παραγωγής. Η εργασία τεκμηριώνει τη συνάφεια της τεχνολογίας αυτής με τις σύγχρονες απαιτήσεις της «έξυπνης» αυτοκίνησης και συνεισφέρει στην περαιτέρω κατανόηση των τεχνικών, λειτουργικών και μεθοδολογικών παραμέτρων ανάπτυξης ενός DT στην πράξη.

Abstract:

This postgraduate thesis focuses on the development and evaluation of a Digital Twin (DT) for the engine of a SUBARU Forester XT (2005) vehicle. The aim of the study is to investigate the potential of digital twin technology in monitoring, predicting, and optimizing the performance of an internal combustion system, while also supporting maintenance processes.

The theoretical part presents the conceptual framework of Digital Twins, their typology, maturity levels, and their applications in the automotive industry. Special emphasis is placed on distinguishing DTs from conventional simulations and exploring the technological dimensions of DTs, particularly those involving artificial intelligence and machine learning.

The experimental component involves the collection of real-time data through the OBD-II diagnostic interface, using Subaru Select Monitor 4 (SSM4) equipment during 57 minutes of mixed driving conditions. Data from over 70 sensors were recorded and subsequently analyzed using the ORANGE software platform and the DBSCAN algorithm, aiming to detect patterns, correlations, and anomalies in engine behavior.

The findings highlight the viability of implementing Digital Twins as tools for predictive maintenance and industrial optimization. The study underscores the relevance of DT technology to contemporary smart mobility initiatives and contributes to the broader understanding of the technical, functional, and methodological aspects involved in developing a practical DT system.

Ευχαριστίες:

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στα άτομα που με βοήθησαν και με υποστήριξαν κατά την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων στον επιβλέποντα καθηγητή μου για την καθοδήγηση και τη συνεχή υποστήριξη της διπλωματικής, από τα πρώτα στάδια της σύλληψης της ιδέας μέχρι και σήμερα.

Αμέτρητες ευχαριστίες πρέπει να πάνε και στον κο Μαστροκόλια από την εταιρία "SUBARU KIFISSOS - ΜΑΣΤΡΟΚΟΛΙΑΣ Ε.Ε." όπου χωρίς τη βοήθειά του και την παραχώρηση του αυτοκινήτου δοκιμής αυτή η εργασία δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη μητέρα μου και τον αδερφό μου που με ενθαρρύνουν συνέχεια να εξελίσσομαι και να προσπαθώ για το καλύτερο και ήταν δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια της εκπαίδευσής μου.

Τέλος θα ήθελα να στείλω όλη μου την αγάπη μου, στη σύζυγό μου που με στήριξε αμέριστα και χωρίς δισταγμό, σε αυτή μου την απόφαση για επιμόρφωση και ήταν στο πλευρό μου από την πρώτη στιγμή.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή	7
1.1 Αντικείμενο εργασίας	7
1.2 Εισαγωγή στα Ψηφιακά Δίδυμα	7
1.3 Ψηφιακά δίδυμα στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας	10
1.3.1 Εισαγωγή	10
1.3.2 Δομή και Επίπεδα Ψηφιακών Διδύμων σε οχήματα	11
1.3.3 Εφαρμογές στην Αυτοκινητοβιομηχανία	12
1.3.4 Μελέτες Περίπτωσης και Τεχνολογικές Εξελίξεις	13
2 Αυτοκίνητο δοκιμής και Συλλογή δεδομένων	14
2.1 Καταγραφή δεδομένων-Δημιουργία dataset	14
2.2 Λειτουργία κινητήρα αυτοκινήτου δοκιμής	16
2.3 Περιγραφή των δεδομένων καταγραφής	18
3 Επεξεργασία δεδομένων	23
3.1 Λογισμικό ORANGE	23
3.2 Αλγόριθμος DBSCAN	24
3.3 Απομόνωση-διαλογή τιμών του δείγματος	25
3.4 Επεξεργασία δεδομένων	31
3.5 Σημεία «Outliers»	36
4 Συμπεράσματα Προτάσεις	38
4.1 Συμπεράσματα	38
4.2 Προτάσεις	39
Βιβλιογραφία	41
Παράρτημα	43

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Στην παρούσα εργασία γίνεται λεπτομερής παρουσίαση των τιμών που καταγράφονται και προκύπτουν από τους αισθητήρες ενός αυτοκινήτου SUBARU Forrester. Σκοπός είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου του κινητήρα μέσω της μελέτης των τιμών αυτών. Στόχος είναι από την μελέτη αυτή να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας του κινητήρα του οχήματος, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν με σκοπό να βελτιωθούν είτε διαδικασίες στον τρόπο παραγωγής ή στη συχνότητα συντήρησης εξαρτημάτων.

1.2 Εισαγωγή στα Ψηφιακά Δίδυμα

Στην εποχή που ολοένα και περισσότερες υπηρεσίες και παροχές του φυσικού κόσμου μεταφέρονται στο ψηφιακό, μπορεί να διακρίνει κάποιος ότι η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων (DT) αποτελεί μέρος της ανόδου των νέων ψηφιακών τεχνολογιών που υποστηρίζουν τον ψηφιακό μετασχηματισμό. Με τα DT παρέχονται δυνατότητες για τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων και συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων. Πολλοί οργανισμοί έχουν ήδη ενσωματώσει ή βρίσκονται στη διαδικασία ενσωμάτωσης δυνατοτήτων που αφορούν δεδομένα, πληροφορίες και αναλύσεις στις υπηρεσίες τους. Παρόμοια με άλλες “ψηφιακές” έννοιες, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το cloud computing, η μηχανική μάθηση (Machine Learning), η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η επαυξημένη πραγματικότητα (AR), έτσι και η έννοια του DT γνωρίζει αυξανόμενο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο όσο και στη βιομηχανία, όπως αποδεικνύεται από την αύξηση των δημοσιεύσεων, των άρθρων αλλά και των εμπορικών εφαρμογών.

Τι είναι τα DT

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η έννοια του Ψηφιακού Διδύμου (Digital Twin, DT) έχει εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία είκοσι χρόνια, ωστόσο δεν έχει καθοριστεί ένας ενιαίος και καθολικός ορισμός. Το 2020 οι Trauer, Schweigert-Recksiek, Engel, Spreitzer και Zimmermann επιχείρησαν να καταλήξουν σε έναν ολοκληρωμένο ορισμό, διεξάγοντας τόσο ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσο και μια βιομηχανική μελέτη περίπτωσης με την εταιρεία Viessmann, η οποία εξειδικεύεται στην τεχνολογία θέρμανσης. Οι παραπάνω τέσσερις, καταλήγουν σε τρία βασικά χαρακτηριστικά των DTs. Θα μπορούσε να πει κάποιος ότι πρόκειται για αναπαράσταση ενός **φυσικού συστήματος**. Δηλαδή ότι ένα DT λειτουργεί ως ένα εικονικό μοντέλο που αντικατοπτρίζει μια πραγματική φυσική οντότητα. Ακόμα πως πρόκειται για μία **αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων**, όπου υπάρχει συνεχής, διμερής επικοινωνία μεταξύ του φυσικού συστήματος και του αντίστοιχου ψηφιακού συστήματος, επιτρέποντας ενημερώσεις και αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο. Τέλος κατέληξαν και στην **ενσωμάτωση δεδομένων που αφορούν τον κύκλο ζωής ενός συστήματος**, εξηγώντας ότι τα DT συνδέονται με ολόκληρο τον κύκλο ζωής του φυσικού συστήματος, από τη σχεδίαση και την παραγωγή έως τη λειτουργία και τη συντήρηση.

Οι συγγραφείς ξεχωρίζουν τρεις συγκεκριμένους τύπους DT, καθένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής ενός προϊόντος:

- **Engineering Twin:** Εστιάζει στη φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης, επιτρέποντας την εικονική δοκιμή και επικύρωση πριν δημιουργηθούν φυσικά πρωτότυπα.
- **Production Twin:** Αναφέρεται στη διαδικασία κατασκευής, διευκολύνοντας την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων παραγωγής.

- **Operation Twin:** Σχετίζεται με τη φάση λειτουργίας του προϊόντος, συμβάλλοντας στην παρακολούθηση της απόδοσης, στην προληπτική συντήρηση και στη βελτιστοποίηση των υπηρεσιών. (J. Trauer, 2020)

Βάσει τεχνικής προσέγγισης, δημιουργούνται διάφοροι τύποι DT, όπως το μερικό, το κλωνοποιημένο και το επαυξημένο DT. Οι τύποι αυτοί σύμφωνα με τον Kucera (2016), δημιουργούνται από το γεγονός ότι δεν συμβαδίζουν πάντα οι εφαρμογές των DT και μπορεί να προκύψουν επικαλυπτόμενες μέθοδοι και εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην “έξυπνη” παραγωγή DT.

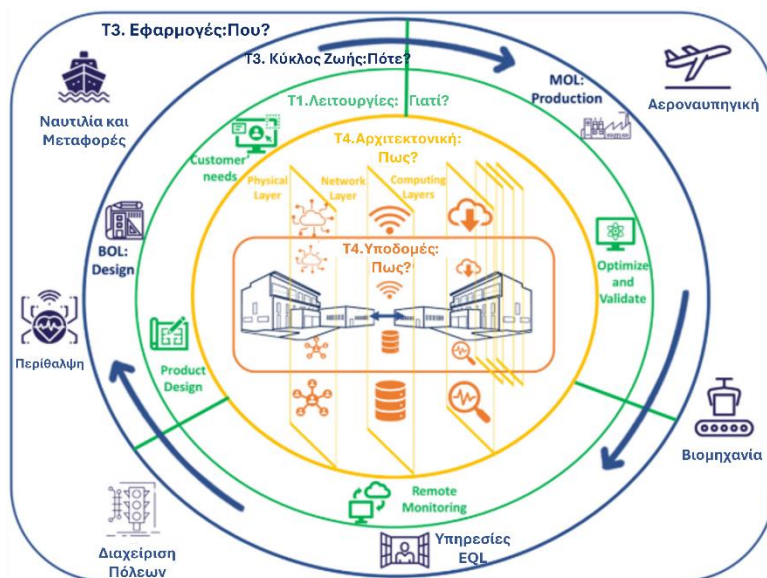
Εφαρμογές και οφέλη

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός Ψηφιακού Διδύμου, συμπεριλαμβανομένων των λεπτομερειών των επιμέρους στοιχείων του, θα πρέπει να καθοδηγείται από τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αυτό θα συμβάλει στον καθορισμό των απαιτήσεων για τα απαραίτητα δεδομένα, τα μοντέλα και τις διαδικασίες ενημέρωσης των μοντέλων βάσει των δεδομένων. Οι υλοποιήσεις των Ψηφιακών Διδύμων απαιτούν την ενσωμάτωση μιας ποικιλίας διαφορετικών τεχνολογιών, και η ενοποίηση αυτών των τεχνολογιών εξακολουθεί να αποτελεί μια συνεχιζόμενη πρόκληση.

Για αυτό το λόγο και οι Eric VanDerHorn, Sankaran Mahadevan, το 2021 υποστήριξαν ότι μπορούν να ληφθούν υπόψη διάφορες προσεγγίσεις:

- η ανάπτυξη ενός Ψηφιακού Διδύμου χρησιμοποιώντας υπάρχοντα εμπορικά εργαλεία,
- η κατασκευή ενός Ψηφιακού Διδύμου από εμπορικά διαθέσιμα στοιχεία,
- ή μια υβριδική προσέγγιση όπου συνδυάζονται τα δύο παραπάνω. (Eric VanDerHorn, 2021)

Μία αρκετά καλή προσέγγιση όπου τα πεδία εφαρμογής, οι φάσεις κύκλου ζωής, οι λειτουργικότητες, οι αρχιτεκτονικές και τα συστατικά στοιχεία, μελετώνται και οργανώνονται σε ένα ενιαίο παράδειγμα, συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1):



Εικόνα 1 - Φάσεις του κύκλου ζωής ενός DT (Concetta Semeraro, 2021)

Ξεκινώντας από το εξωτερικό επίπεδο T3, οι υπάρχουσες εφαρμογές ψηφιακών διδύμων αναφέρονται σε συγκεκριμένα και παραδοσιακά πεδία εφαρμογής: Υγειονομική Περίθαλψη, Ναυτιλία και Θαλάσσιες Μεταφορές, Βιομηχανική Παραγωγή, Διαχείριση Πόλεων, Αεροδιαστημική.

Στο επίπεδο T1 συνοψίζεται ότι το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να αναπτυχθεί σε κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, εκπληρώνοντας διαφορετικές λειτουργίες. Το ψηφιακό δίδυμο μπορεί εν δυνάμει να βοηθήσει στην ολοκληρωμένη ενσωμάτωση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Η μοντελοποίηση ενός ψηφιακού αντιγράφου ενός φυσικού συστήματος για την εκτέλεση επαλήθευσης και βελτιστοποίησης σε πραγματικό χρόνο είναι ιδιαίτερα σύνθετη και, επομένως, απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων.

Στα επίπεδα T2 και T4, ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να είναι μοντέλο ενός εξαρτήματος, ενός συστήματος εξαρτημάτων ή ενός συστήματος συστημάτων. Το ψηφιακό δίδυμο απαιτεί την κατασκευή και εφαρμογή μοντέλων που στοχεύουν στην ακρίβεια της πραγματικότητας. Η μοντελοποίηση της πραγματικότητας σε ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια περίπλοκη διαδικασία, καθώς περιλαμβάνει αισθητήρες, πολυλειτουργικά μοντέλα, δεδομένα από πολλαπλές πηγές, υπηρεσίες κ.ά. Οι άνθρωποι παίζουν σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων, ειδικά σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Η αλληλεπίδραση με τον άνθρωπο αποτελεί μία από τις βασικές προκλήσεις στην ανάπτυξη και εφαρμογή των Ψηφιακών Διδύμων στη βιομηχανική παραγωγή.

Οφέλη

Επίσης το 2021 οι Eric VanDerHorn, Sankaran Mahadevan ανέδειξαν πολλά από τα πιθανά και αντιληπτά οφέλη του DT, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης κόστους και κινδύνου, της βελτίωσης της αποδοτικότητας, της αναβάθμισης των προσφερόμενων υπηρεσιών, της ενίσχυσης της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της ανθεκτικότητας καθώς και της υποστήριξης στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. (Eric VanDerHorn, 2021)

Πρακτικές εφαρμογές

Μέσα από τη συνεργασία με τη γερμανική εταιρία Viessmann, οι Trauer, Schweigert-Recksiek, Engel, Spreitzer και Zimmermann, που αναφέρονται παραπάνω, εφάρμοσαν πρακτικές για την ανάπτυξη ενός DT για ένα προϊόν τεχνολογίας θέρμανσης. Αυτή η πρακτική εφαρμογή παρείχε πληροφορίες σχετικά με τις προκλήσεις και τα οφέλη της εφαρμογής ενός DT στην ανάπτυξη τεχνικών προϊόντων. (J. Trauer, 2020)

Επομένως έπειτα από συστηματική μελέτη των Eric VanDerHorn, Sankaran Mahadevan, η ποικιλία των περιπτώσεων χρήσης στις οποίες έχει συσχετιστεί το Ψηφιακό Δίδυμο έχει οδηγήσει σε ένα ευρύ φάσμα ορισμών και ηλαιοισίων στον κλάδο, προκαλώντας σύγχυση η οποία, θα μπορούσε ίσως, να αποδυναμώσει την έννοια και να περιορίσει την ικανότητά της να επιτύχει τα αναμενόμενα οφέλη. Για να μειωθεί αυτή η σύγχυση και οι μη ρεαλιστικές προσδοκίες γύρω από αυτήν την τεχνολογία, απαιτείται ένας γενικευμένος και ενοποιημένος ορισμός του Ψηφιακού Διδύμου, καθώς και μια σαφής ταξινόμηση των στοιχείων που το συνθέτουν, διαχωρίζοντάς το από άλλες παρόμοιες ψηφιακές τεχνολογίες.

Για τον παραπάνω λόγο αρκετοί συγγραφείς της επιστημονικής κοινότητας επιδιώκουν, μέσα από τη διαδικασία πρακτικής υλοποίησης των Ψηφιακών Διδύμων, να αναδείξουν τις βασικές αποφάσεις σχεδιασμού και τις στρατηγικές υλοποίησης. (Eric VanDerHorn, 2021)

Γεννάται βεβαίως και το ερώτημα « Τι είδους οργανισμοί χρησιμοποιούν ήδη ψηφιακά δίδυμα;». Σύμφωνα με έρευνα της McKinsey, ένα βασικό στοιχείο που χρειάζεται ένας οργανισμός για την εφαρμογή ψηφιακών διδύμων είναι η ψηφιακή ωριμότητα. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει την καταγραφή, διατήρηση και επεξεργασία δεδομένων: μια υποδομή δεδομένων υψηλής ποιότητας που παρέχει αξιόπιστα δεδομένα τόσο από test περιβάλλοντα όσο και από

πραγματικά, καθώς και η γνώση που απαιτείται για την ανάπτυξη και συντήρηση αυτής της υποδομής.

Οι οργανισμοί σε προηγμένες βιομηχανίες ηγούνται της προσπάθειας: τα δεδομένα της έρευνας δείχνουν ότι σχεδόν το 75% των εταιρειών έχουν ήδη υιοθετήσει τεχνολογίες ψηφιακών διδύμων που έχουν επιτύχει τουλάχιστον σε μεσαίο επίπεδο πολυπλοκότητας. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οργανισμοί από διάφορους κλάδους, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική και η άμυνα, η τεχνολογία, το λιανικό εμπόριο και τα καταναλωτικά αγαθά. Πιο πιθανόν είναι οι τομείς των logistics, των υποδομών και της ενέργειας να αναπτύσσουν τις πρώτες τους κατευθυντήριες γραμμές για ψηφιακά δίδυμα. (McKinsey, 2024).

Αποτέλεσμα αυτού είναι να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι τα DTs συμβάλλουν στη συνεχιζόμενη συζήτηση προσφέροντας έναν συνεπή και λεπτομερή ορισμό των Ψηφιακών Διδύμων, τονίζοντας τον ουσιαστικό τους ρόλο στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος και υπογραμμίζοντας τη σημασία της αμφίδρομης ανταλλαγής δεδομένων για τη δημιουργία ενός ενιαίου εικονικού-φυσικού συστήματος όπως είναι τα DT. (Eric VanDerHorn, 2021).

1.3 Ψηφιακά δίδυμα στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας

1.3.1 Εισαγωγή

Τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins), όπως αναλύονται στο παραπάνω υποκεφάλαιο είναι δυναμικές, ψηφιακές αναπαραστάσεις φυσικών συστημάτων, αντικειμένων ή διεργασιών, που επιτρέπουν την παρακολούθηση, προσομοίωση και βελτιστοποίηση τους σε πραγματικό χρόνο. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες μέσω δεδομένων από αισθητήρες οχημάτων και επιχειρησιακά αρχεία. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση συμπεριφορών, την πρόβλεψη καταστάσεων ακόμα και στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Μέχρι και σήμερα χρησιμοποιείται από τις αυτοκινητοβιομηχανίες η ψηφιακή αναπαράσταση ενός οχήματος μέσω της προσομοίωσης αλλά υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ αυτής και ενός ψηφιακού διδύμου οι οποίες και αναλύονται παρακάτω.

Διαφορές μεταξύ DT και προσομοίωσης

Τα ψηφιακά δίδυμα καθρεφτίζουν το πραγματικό αυτοκίνητο σε πραγματικό χρόνο παρέχοντας συνεχή ενημέρωση για τις πληροφορίες "ζωτικής" σημασίας. Για παράδειγμα από την ζωή του κινητήρα μέχρι και την κατανάλωση του καυσίμου υπάρχει ένας παρατηρητής της ευρυθμίας του αυτοκινήτου. Αυτό που κάνει ένα ψηφιακό δίδυμο ξεχωριστό όμως είναι η δυνατότητα να αλληλεπιδρά σε πραγματικό χρόνο με το δίδυμο του στον πραγματικό κόσμο. Πρόκειται για αμφίδρομη επικοινωνία, καθώς το ψηφιακό δίδυμο ενημερώνεται και εκπαιδεύεται από το πραγματικό αυτοκίνητο, βελτιώνοντας τη βέλτιστη λειτουργία του και την συντήρησή του έγκαιρα.

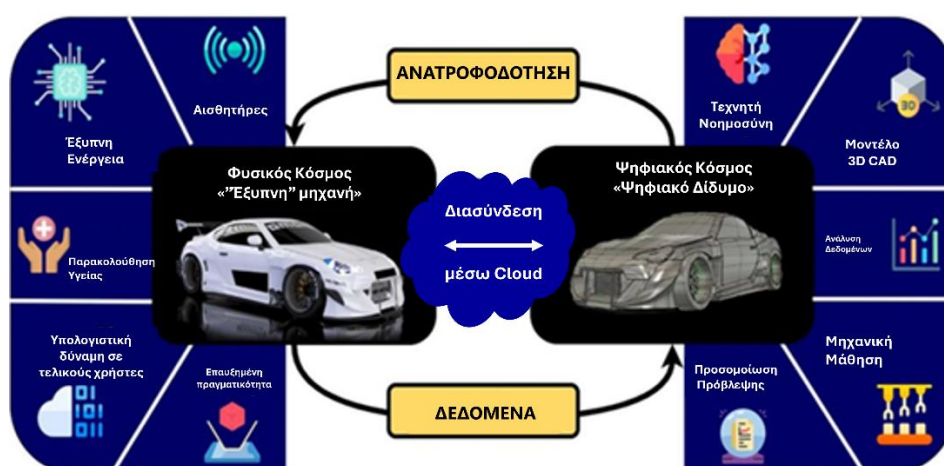
Από την άλλη μία προσομοίωση ουσιαστικά αφορά μία πρόβα σε εικονικό κόσμο, δηλαδή μία δοκιμαστική βόλτα με το αυτοκίνητο πριν βγει και κυκλοφορήσει στους δρόμους. Για παράδειγμα, οι δοκιμές συγκρούσεων (crash tests) στην αυτοκινητοβιομηχανία, λαμβάνουν χώρα με τη μορφή της προσομοίωσης. Πρόκειται για περιπτώσεις όπου οι μηχανικοί δημιουργούν ένα εικονικό μοντέλο αυτοκινήτου και προσομοιώνουν ένα σενάριο σύγκρουσης. Αυτό για παράδειγμα δεν αποτελεί μία συνεχή εποπτεία του οχήματος αλλά πιο πολύ μία πρόβλεψη των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από εκδοχές διαφορετικών σεναρίων. Οι προσομοιώσεις θεωρούνται μία πλατφόρμα για δοκιμή, εκπαίδευση και πρόβλεψη ενός συστήματος όπως ένα αυτοκίνητο, και πως αυτό το σύστημα συμπεριφέρεται κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Πρόκειται για έναν ψηφιακό χώρο όπου οι κατασκευαστές οχημάτων δοκιμάζουν ό,τι έχουν σχεδιάσει διασφαλίζοντας την ασφάλεια και την απόδοση των οχημάτων πριν να προχωρήσουν στην κατασκευή ενός πρωτοτύπου.

Επομένως τα ψηφιακά δίδυμα εποπτεύουν προσεκτικά το παρόν, ενισχύοντας τις συνδέσεις σε πραγματικό χρόνο μεταξύ του ψηφιακού και του φυσικού κόσμου. Από την άλλη πλευρά, οι προσομοιώσεις μας μεταφέρουν στο μέλλον, επιτρέποντάς μας να προβλέψουμε και να αξιοποιήσουμε τα αποτελέσματα πριν γίνουν πραγματικότητα, καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται. (Rossmann, 2016)

1.3.2 Δομή και Επίπεδα Ψηφιακών Διδύμων σε οχήματα

Η βασική αρχιτεκτονική ενός DT, όπως ήδη αναφέρθηκε περιλαμβάνει (Εικόνα 2):

- **Φυσική Οντότητα (Physical Entity – PE):** Το πραγματικό αντικείμενο ή σύστημα (π.χ. όχημα).
- **Εικονική Οντότητα (Virtual Entity – VE):** Ψηφιακό μοντέλο υψηλής πιστότητας του συστήματος.
- **Σύνδεση (Connection – CN):** Η αμφίδρομη ροή δεδομένων μεταξύ φυσικής και εικονικής οντότητας.



Εικόνα 2 - Συνδέσεις φυσικού και ψηφιακού κόσμου (Kantaros, 2022)

Το 2023, σύμφωνα με τους (Shutong Denga, 2023), προστέθηκαν δύο ακόμα διαστάσεις στο μοντέλο:

- **Δεδομένα Ψηφιακού Διδύμου (Digital Twin Data – DD):** Ιστορικά και πραγματικού χρόνου δεδομένα.
- **Υπηρεσίες Διδύμου (Services – Ss):** Λειτουργίες που προσφέρει το DT (π.χ. διάγνωση, πρόγνωση).

Τα DT διακρίνονται και στην αυτοκινητοβιομηχανία σε τέσσερα επίπεδα ωριμότητας (βλ Εικόνα 3):

Επίπεδο 1: Προ-Ψηφιακό Δίδυμο (Pre-Digital Twin)

Πρόκειται για βασικά υπολογιστικά ή μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν τη λειτουργία ενός φυσικού οχήματος. Δεν υπάρχει σύνδεση με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και η προσομοίωση βασίζεται σε προκαθορισμένες παραδοχές και παραμέτρους. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για σχεδιασμό, πειραματισμό και πρόβλεψη, αλλά δεν αντικατοπτρίζουν συνεχώς την πραγματική κατάσταση του αυτοκινήτου.

Επίπεδο 2: Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin)

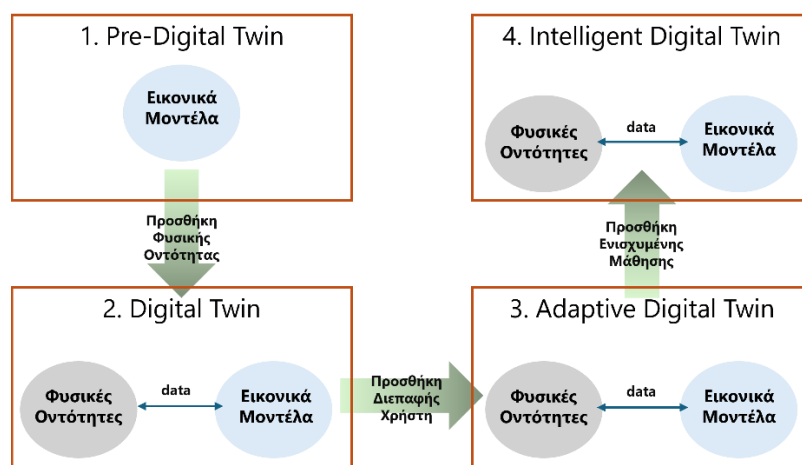
Το Ψηφιακό Δίδυμο είναι μια δυναμική, ψηφιακή αναπαράσταση ενός οχήματος, η οποία συνδέεται με αισθητήρες και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Μέσω συνεχούς ανατροφοδότησης, το ψηφιακό δίδυμο αντικατοπτρίζει με ακρίβεια την τρέχουσα κατάσταση και συμπεριφορά του φυσικού αυτοκινήτου, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση, τη συντήρηση και την λήψη αποφάσεων.

Επίπεδο 3: Προσαρμοστικό Δίδυμο (Adaptive Digital Twin)

Το Προσαρμοστικό Δίδυμο επεκτείνει τις δυνατότητες του παραδοσιακού Ψηφιακού Διδύμου, καθώς ενσωματώνει αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για να "εκπαιδεύεται" από τα δεδομένα και τη συμπεριφορά του οδηγού και κατά επέκταση του οχήματος. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αναπροσαρμόζει τις λειτουργίες και τις προβλέψεις του, βελτιώνοντας συνεχώς την ακρίβεια και τη χρησιμότητά του με βάση την εμπειρία και τις αλλαγές συνθηκών.

Επίπεδο 4: Έξυπνο Δίδυμο (Intelligent Digital Twin)

Το Έξυπνο Δίδυμο αποτελεί το πιο προηγμένο στάδιο εξέλιξης. Συνδυάζει τεχνητή νοημοσύνη, αυτόνομη λήψη αποφάσεων για το όχημα και δυνατότητες πρόβλεψης με βάση σύνθετες αναλύσεις δεδομένων. Δεν περιορίζεται μόνο στην αναπαράσταση της πραγματικότητας, αλλά προτείνει ενέργειες, προβλέπει μελλοντικά σενάρια και ενίοτε ενεργεί αυτόνομα. Η εφαρμογή τέτοιου τύπου DT μπορεί να εμφανιστεί σε προηγμένες αστικές υποδομές ή έξυπνες πόλεις και έχει άμεση σύνδεση με την αυτόνομη οδήγηση.



Εικόνα 3 - Επίπεδα ωριμότητας ενός DT (Shutong Deng, 2023)

1.3.3 Εφαρμογές στην Αυτοκινητοβιομηχανία

Σχεδιασμός και Κατασκευή

Τα DT μπορούν να επιταχύνουν σημαντικά το σχεδιασμό νέων οχημάτων. Οι εικονικές προσομοιώσεις επιτρέπουν την πρόβλεψη συμπεριφορών χωρίς την ανάγκη φυσικών πρωτοτύπων. Για παράδειγμα, σε προσομοιώσεις ανάλυσης θορύβου, δονήσεων και καταπόνησης (NHV Analysis), χρησιμοποιούνται DT για την ανάλυση κραδασμών και θορύβων, μειώνοντας το κόστος και το χρόνο σχεδίασης.

Στη γραμμή παραγωγής, τα DT παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση του εξοπλισμού, προλαμβάνοντας αστοχίες και ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας.

Χρήση Οχημάτων και Προγνωστική Συντήρηση

Με τα DT, η κατάσταση των συστημάτων του οχήματος παρακολουθείται διαρκώς. Επομένως με την επεξεργασία δεδομένων από τον κινητήρα, τα φρένα, τα ελαστικά και άλλα εξαρτήματα, μπορούν να εντοπιστούν πρόωρα πιθανές αστοχίες. Μελέτη έδειξε ότι μοντέλα μηχανικής μάθησης (Machine Learning) με βάση τα DT μπορούσαν να προβλέψουν με ακρίβεια την κατανάλωση καυσίμου, μειώνοντας σημαντικά την ανάγκη για δαπανηρές δοκιμές.

Κυβερνοασφάλεια και Ιδιωτικότητα

Καθώς τα οχήματα γίνονται πιο συνδεδεμένα σε υποδομές δικτύωσης, αυξάνονται και οι κίνδυνοι για παραβιάσεις. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να εξομοιώσουν επιθέσεις και να αξιολογήσουν την ανθεκτικότητα του συστήματος. Για αυτό και προτάθηκε το 2021 ένα σύστημα ενίσχυσης προσωπικών δεδομένων βασισμένο σε DT από τους Almeaibed, Al-Rubaye, Tsourdos, και Avdelidis για την προστασία δεδομένων των οδηγών σε έξυπνα οχήματα. (Sadeq Almeaibed, 2021)

Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών

Σε επίπεδο υποδομής, τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση κυκλοφορίας, πρόβλεψη συμφόρησης και βελτιστοποίηση διαδρομών. Σε αυτόνομα οχήματα, τα DT υποστηρίζουν λειτουργίες πλοήγησης, εντοπισμού και σχεδιασμού πορείας.

Επίσης, διευκολύνουν την επικοινωνία V2X (vehicle-to-everything), βελτιώνοντας την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του οδικού δικτύου.

1.3.4 Μελέτες Περίπτωσης και Τεχνολογικές Εξελίξεις

Ενσωμάτωση Μηχανικής Μάθησης

Η χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης (ML) επιτρέπει στα DT να επεξεργάζονται πολύπλοκα δεδομένα και να κάνουν προβλέψεις, όπως πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου, διαγνώσεις βλαβών και ανάλυση οδηγικής συμπεριφοράς.

Το 2023 σε μια εφαρμογή από τους E. Tomanik, Jimenez-Reyes, V. Tomanik και Tormos, ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network-ANN) εκπαιδεύτηκε με δεδομένα αισθητήρων και προέβλεψε με μεγάλη ακρίβεια την κατανάλωση καυσίμου σε διαφορετικά σενάρια. (Eduardo Tomanik, 2023)

Εφαρμογές σε Ηλεκτρικά Οχήματα και Μπαταρίες

Τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κατάστασης των μπαταριών, την πρόβλεψη διάρκειας ζωής και την προσομοίωση σεναρίων θερμικής συμπεριφοράς. Οι έρευνες δείχνουν ότι οι μπαταρίες και οι κυψέλες καυσίμου είναι σήμερα από τα πεδία DT στην αυτοκινητοβιομηχανία που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Ασφάλεια Αυτόνομων Οχημάτων

Τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν εξομοιώσεις σεναρίων οδήγησης για την ανάπτυξη και δοκιμή συστημάτων υποβοήθησης οδηγού και της αυτόνομης οδήγησης. Παρέχουν πληροφορίες για την ασφάλεια, προσομοιώνοντας σπάνιες μεν κρίσιμες δε καταστάσεις.

2 Αυτοκίνητο δοκιμής και Συλλογή δεδομένων

Στις παρακάτω υποενότητες γίνεται αναλυτική παρουσίαση του τρόπου συλλογής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Ακόμα, παρουσιάζεται η λειτουργία του κινητήρα του οχήματος για καλύτερη κατανόηση των αισθητήρων που περιγράφονται στο τέλος επεξηγούνται οι τιμές από την καταγραφή αναλυτικά και η λειτουργία του κάθε αισθητήρα.

2.1 Καταγραφή δεδομένων-Δημιουργία dataset

Δεδομένα (DATASET)

Για να γίνει η απαραίτητη επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων από τους αισθητήρες του αυτοκινήτου, ώστε να προκύψει ένα ψηφιακό δίδυμο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εύρεση δεδομένων, που πέραν του πληροφοριακού τους χαρακτήρα για τη λειτουργία του κινητήρα θα είναι επεξεργάσιμα και διαχειρίσιμα.

Αν και πραγματοποιήθηκε εκτενής αναζήτηση σε σχετικές διαδικτυακές πλατφόρμες και ιστότοπους, δεν κατέστη δυνατή η ανεύρεση επαρκών δεδομένων που θα βοηθούσαν το σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας. Αυτή η απουσία μπορεί να αποδοθεί είτε στην έλλειψη προϋπάρχοντος συγκεκριμένου dataset το οποίο να έχει καταγράψει τιμές από αισθητήρες αυτοκινήτου ή άλλου οχήματος, ή τα δεδομένα δεν ήταν αρκετά για να γίνει χρήση ενός αλγορίθμου ομαδοποίησης. Εξαιτίας της δυσκολίας εύρεσης δεδομένων έγινε προγραμματισμένη ενέργεια συλλογής των δεδομένων αισθητήρων από αυτοκίνητο η οποία περιγράφεται παρακάτω αναλυτικά. Η συλλογή των δεδομένων αυτών διενεργήθηκε από τον συγγραφέα της παρούσας εργασίας σε συνεργασία με τον κύριο Μαστροκόλια από την SUBARU KIFISSOS - ΜΑΣΤΡΟΚΟΛΙΑΣ Ε.Ε.

Σύντομη εισαγωγή στην OBD

Η καταγραφή δεδομένων από τη θύρα "On-Board Diagnostics (OBD)" ενός αυτοκινήτου είναι μια διαδικασία κατά την οποία συλλέγονται δεδομένα σχετικά με τη λειτουργία του οχήματος, χρησιμοποιώντας κατάλληλες συσκευές ή εξειδικευμένο λογισμικό.

Η OBD είναι ένα διαγνωστικό σύστημα που είναι ενσωματωμένο σε όλα τα σύγχρονα οχήματα από την 1^η Ιανουαρίου του 1996 και μετά. Ξεκίνησε από την Αμερική όπου και οργανισμοί τυποποίησης θέσπισαν υποχρεωτική την ύπαρξή του, ώστε να παρέχονται οι απαραίτητες πληροφορίες στους τεχνικούς συντήρησης των οχημάτων. Η OBD επιτρέπει την παρακολούθηση των αισθητήρων του κινητήρα αλλά και τη διάγνωση σφαλμάτων.

Σήμερα έχει καθιερωθεί η χρήση της OBD-II. Με εύκολα προσβάσιμους αντάπτορες αλλά ακόμα και χωρίς τη χρήση καλωδίου, δηλαδή σύνδεση μέσω WIFI ή Bluetooth, βοηθά τεχνικούς και αυτοκινητοβιομηχανίες αλλά και τους καθημερινούς οδηγούς των οχημάτων να εντοπίζουν εγκαίρως προβλήματα για τη λειτουργία του οχήματος μέσω ειδικών ενδείξεων, να παρακολουθούν την κατάστασή του σε πραγματικό χρόνο ώστε να επέμβουν αν χρειαστεί, να προλαμβάνουν βλάβες ώστε να εξοικονομούν χρήματα, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η συντήρηση του οχήματος. (Medashe Michael Oluwaseyi, 2020)

Διαδικασία καταγραφής- Πως δημιουργήθηκε το DATASET

Παρακάτω περιγράφονται τα στάδια και η μέθοδος που ακολουθήθηκαν με σκοπό τη συλλογή και την καταγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Αρχικά έγινε η σύνδεση του εξοπλισμού SSM4 (Subaru Select Monitor 4) με τη θύρα OBD-II, όπου στο Forester του 2005 βρίσκεται κάτω από το τιμόνι, κοντά στα πόδια του οδηγού. Έχοντας εγκατεστημένο σε laptop το ειδικό λογισμικό που επιτρέπει τη σύνδεση, μέσω της OBD-II, στις πληροφορίες του οχήματος, ανάψαμε τον κινητήρα. Στη συνέχεια έγινε η επιλογή όλων των διαθέσιμων αισθητήρων που αναγνωρίζονται από το λογισμικό και υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής δεδομένων από αυτούς. Αναλυτικά θα τους παρουσιάσουμε στην ενότητα 2.3 της παρούσας εργασίας. Έπειτα ξεκίνησε η καταγραφή και η οδήγηση. Στο τέλος ολοκληρώθηκε η διαδικασία με την αποθήκευση σε αρχείο τύπου .CSV, ώστε να είναι ευκολότερη η επεξεργασία των τιμών που καταγράφηκαν.

Εξοπλισμός

Συγκεντρώθηκε ο απαραίτητος εξοπλισμός για να γίνει η απρόσκοπτη καταγραφή των τιμών που διαβάζουν οι αισθητήρες ολόκληρου του αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια χρήσης του.

Απαραίτητο εξάρτημα για τη σύνδεση με την ECU του αυτοκινήτου είναι το "SSM4 (Subaru Select Monitor 4)". Πρόκειται για ένα διαγνωστικό εργαλείο που πωλείται με συνδρομητική υπηρεσία 12 μηνών. Κάθε τρίμηνο, η μητρική εταιρεία SUBARU κυκλοφορεί μια νέα έκδοση του λογισμικού αυτού. Δίνει τη δυνατότητα σε κάποιον που διαθέτει τα παραπάνω, μέσω της OBD-II να έχει πρόσβαση στον εγκέφαλο του οχήματος. Έτσι ο χρήστης του SSM4 μπορεί να παρέμβει και να ρυθμίσει συγκεκριμένες λειτουργικότητες αλλά και να παρακολουθήσει άμεσα τιμές που αφορούν τη λειτουργία του οχήματος.

Οδήγηση - Δοκιμή

Αφού έγινε η σύνδεση του εξοπλισμού που περιγράφεται παραπάνω με το αυτοκίνητο της δοκιμής βεβαιώθηκε η σωστή λειτουργία και η σύνδεσή του. Ορίστηκε διάστημα καταγραφής τιμών κάθε 0.66 κλάσματα του δευτερολέπτου ώστε το δείγμα να είναι όσο το δυνατόν πιο "πυκνό" και ολοκληρωμένο. Η ενέργεια αυτή είχε ως στόχο την ελαχιστοποίηση απώλειας των σχετικών δεδομένων ώστε να μην χαθούν σημαντικές πληροφορίες που μπορεί να είναι χρήσιμες για τη διεξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων. Πριν την δοκιμή διενεργήθηκε έλεγχος ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η καταγραφή είναι ενεργή και ότι λειτουργεί άρτια ως προς την ορθή καταγραφή των δεδομένων από τους αισθητήρες. Για αυτόν τον λόγο πραγματοποιήθηκε εκκίνηση και δοκιμαστική λειτουργία του κινητήρα του αυτοκινήτου σε στάση για 5 λεπτά.

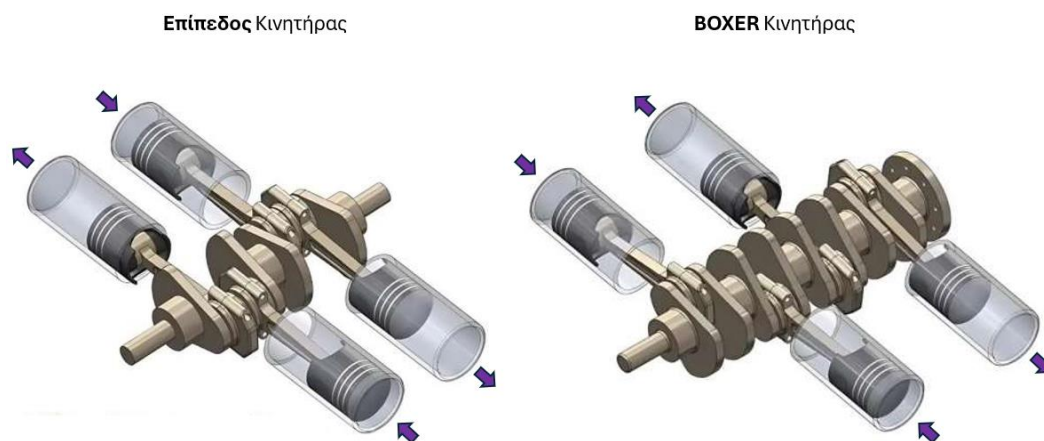
Αφού διαπιστώθηκε ότι είμαστε έτοιμοι για τη δοκιμή ξεκίνησε η οδήγηση του αυτοκινήτου. Σκοπός είναι η οδήγηση να είναι "μεικτή", ώστε το δείγμα που θα καταγραφεί να ανταποκρίνεται πλήρως στις συνθήκες λειτουργίας ενός αυτοκινήτου έξω στο δρόμο, λαμβάνοντας υπόψιν τα φορτία κύλισης, και όχι απλά στη λειτουργία του κινητήρα εργαστηριακά. Η μεικτή οδήγηση περιλαμβάνει τόσο κίνηση εντός αστικού περιβάλλοντος αλλά και σε αυτοκινητόδρομο. Η οδήγηση συνολικά διήρκεσε 57 λεπτά και περιλάμβανε κίνηση εντός πόλεως, συμπεριλαμβανομένων και στάσεων αλλά επίσης και ταξίδι στην εθνική οδό. Ο χρόνος εντός πόλης είναι περίπου 25 λεπτά και τα υπόλοιπα λεπτά της δοκιμής αφορούν σε οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο. Το συνολικό μήκος της διαδρομής που πραγματοποιήθηκε για τη δοκιμή είναι 87 χιλιόμετρα.

2.2 Λειτουργία κινητήρα αυτοκινήτου δοκιμής

Ακολουθεί σύντομη εισαγωγή για την εταιρία SUBARU και το αυτοκίνητο που χρησιμοποιήθηκε.

Η Subaru είναι θυγατρική της Subaru Corporation, που προηγουμένως ήταν γνωστή ως Fuji Heavy Industries (FHI). (Lewis, 2022)

Η FHI παρουσίασε το πρώτο της αυτοκίνητο το 1958, το οποίο ήταν ένα μικρό αυτοκίνητο με κινητήρα 360 κυβικών εκατοστών. Στη συνέχεια, τον Μάιο του 1966, η εταιρεία παρουσίασε το πρώτο αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής στην Ιαπωνία, με κίνηση στους εμπρός τροχούς. Αυτό το αυτοκίνητο διέθετε έναν τετρακύλινδρο κινητήρα με οριζόντια διάταξη αντικριστών κυλίνδρων. Διάταξη παρόμοια με τον κινητήρα που σχεδίασε ο καθηγητής Ferdinand Porsche για το Volkswagen του 1936 (Beck-Burridge, 2001). Σήμερα είναι γνωστή η διάταξη αυτή σαν επίπεδη διάταξη κυλίνδρων (FLAT). Όλοι οι κινητήρες τύπου BOXER είναι FLAT αλλά δεν σημαίνει απαραίτητα ότι όλοι οι FLAT κινητήρες είναι τύπου BOXER. (Εικόνα 4)



Εικόνα 4 - Κίνηση εμβόλων μεταξύ επίπεδου και BOXER κινητήρα (Autotriti, 2024)

Η βασική διαφορά εντοπίζεται στην κίνηση των πιστονιών και στα κομβία του στροφάλου. Σε ένα επίπεδο κινητήρα (FLAT), πρέπει τα πιστόνια να έχουν περιεχόμενη γωνία 180 μοιρών. Εφόσον η αρχή λειτουργίας είναι όμοια με των κινητήρων σε διάταξη τύπου V και τα ζεύγη των αντικριστών πιστονιών εδράζονται στο ίδιο κομβίο του στροφάλου, τότε πρόκειται για έναν FLAT κινητήρα. Μάλιστα σε αυτή την περίπτωση, τα αντικριστά πιστόνια κινούνται παράλληλα, δηλαδή έχουν πάντα την ίδια κατεύθυνση. (Autotriti, 2024)

Το αυτοκίνητο της δοκιμής

Το αυτοκίνητο που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή δεδομένων των αισθητήρων αυτοκινήτου είναι το μοντέλο της SUBARU, Forester XT 2005. Ο τύπος του κινητήρα είναι ο «2005 EJ255 E Turbo» και το καύσιμό του είναι η βενζίνη. Έχει χωρητικότητα 2.457 κυβικά εκατοστά και αποδίδει ισχύ 207 HP (154 kW). Πρόκειται για τη δεύτερη γενιά Forester της εταιρείας SUBARU. Η μετάδοση στους τροχούς περνάει από ένα μηχανικό κιβώτιο 5 σχέσεων και στους τέσσερις τροχούς, σε μόνιμη βάση. Σε μεγαλύτερο ποσοστό μεταδίδεται στον εμπρόσθιο άξονα και μόλις εμφανισθούν ολισθήσεις κατά την οδήγηση, οι συνεκτικοί συμπλέκτες εμπλέκονται για κατανομή έως και 50/50 (εμπρός/πίσω).

Βασικές αρχές λειτουργίας του κινητήρα «BOXER» με οριζόντια διάταξη κυλίνδρων V180°

Ο κινητήρας «BOXER», όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, πρόκειται για έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με οριζόντια αντίθετους κυλίνδρους, όπου οι κύλινδροι τοποθετούνται αντικριστά, στις πλευρές ενός κεντρικού στροφαλοφόρου άξονα. Αυτή η διάταξη συνδέεται κυρίως με μάρκες όπως η SUBARU και η PORSCHE λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών και πλεονεκτημάτων της.

Σχεδιασμός και Διάταξη

Βασικότερο αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό του BOXER κινητήρα είναι οι αντικριστοί κύλινδροι. Οι κύλινδροι μπορεί να είναι τοποθετημένοι οριζόντια σε μία, δύο, τρεις ή και τέσσερις σειρές, με την φορά των κεφαλών αντίθετα ή μία από την άλλη. Ένας κεντρικός στροφαλοφόρος άξονας συνδέει τα έμβολα από την κάθε πλευρά. Το όνομα όμως του κινητήρα, προέκυψε από αυτήν την κίνηση που πραγματοποιεί ένας αθλητής πυγμαχίας κατά τα κροσέ χτυπήματα. Έτσι και τα έμβολα εντός του χιτωνίου του κυλίνδρου, κινούμενα μπρος-πίσω οριζοντίως, μιμούνται την κίνηση ενός πυγμάχου (BOXER).

Ο BOXER κινητήρας όπως και οι περισσότεροι κινητήρες εσωτερικής καύσης σήμερα στα αυτοκίνητα είναι τετράχρονοι. Λειτουργούν με βάση τον κύκλο των τεσσάρων χρόνων, που είναι εισαγωγή, συμπίεση, έκρηξη, εξαγωγή. Ακόμα για την ισορροπημένη λειτουργία του κινητήρα, πολύ βασικό είναι ο συγχρονισμός των αντικριστών εμβόλων. Τα αντικριστά έμβολα βάσει σχεδιασμού του κινητήρα είναι συγχρονισμένα, έτσι ώστε όταν το ένα κινείται προς τα έξω, το άλλο κινείται προς τα μέσα, διατηρώντας την ισορροπία.

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα:

Πρώτο πλεονέκτημα ενός κινητήρα BOXER σε σχέση με έναν άλλο σε σειρά είναι το χαμηλό κέντρο βάρους. Τοποθετώντας τους κυλίνδρους και κατά επέκταση κινούμενες μάζες, όπως τα πιστόνια και τα έμβολα, σε επίπεδη διάταξη μειώνεται το κέντρο βάρους του κινητήρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση στη σταθερότητα και την οδική συμπεριφορά του οχήματος. Ακόμα με την αντίθετη κίνηση των εμβόλων ακυρώνονται οι κραδασμοί, προσφέροντας ομαλή λειτουργία χωρίς την ανάγκη πρόσθετων αξόνων ισορροπίας. Τέλος για να λειτουργήσει ένα τέτοιο μπλοκ κινητήρα απαιτείται συμπαγέστερη σχεδίαση σε σχέση με έναν «εν σειρά» κινητήρα, λύνοντας χωροταξικά προβλήματα σε σπορ αυτοκίνητα ή οχήματα με περιορισμένο χώρο.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο σχεδιασμός ενός BOXER κινητήρα αν και αποτελεσματικός είναι αρκετά πολύπλοκος. Αυτό δημιουργεί ένα μειονέκτημα στην κατασκευή του σε σύγκριση με τους κινητήρες εν σειρά ή σχήματος V. Επακόλουθο είναι να αυξάνεται και η δυσκολία της συντήρησης ενός τέτοιου τύπου κινητήρα. Η επίπεδη διάταξη μπορεί να δυσκολεύει τη συντήρηση, όπως την πρόσβαση σε μπουζί ή άλλα εξαρτήματα κοντά στις κεφαλές των κυλίνδρων, δημιουργώντας ένα ακόμα μειονέκτημα για αυτόν τον τύπο κινητήρα που μελετάμε στην εργασία αυτή. Τέλος, τα παραπάνω μειονεκτήματα, λόγω της πολυπλοκότητας και της περιορισμένης χρήσης από λίγους κατασκευαστές, αυξάνουν το κόστος παραγωγής αλλά και της συντήρησης.

Ο κινητήρας BOXER εντοπίζεται σε οχήματα όπως τα αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες και αεροσκάφη. Οι πιο συχνές και γνωστές εφαρμογές του BOXER στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι της SUBARU και της PORSCHE. Τεράστια εμπορική επιτυχία έχουν οι μοτοσυκλέτες της εταιρίας BMW με κινητήρα BOXER, κάνοντας μάλιστα χρήση αυτού, για πρώτη φορά το 1923. Επίσης BOXER χρησιμοποιούνται και σε μικρά αεροσκάφη λόγω της ομαλής λειτουργίας κινητήρα και του συμπαγούς σχεδιασμού τους.

Το είδος ενός BOXER μπορεί να είναι είτε ατμοσφαιρικός ή με υπερσυμπιεστή (turbo). Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2013 βγήκαν στην παραγωγή ακόμα και υβριδικοί BOXER

κινητήρες, που ουσιαστικά ενσωματώθηκαν σε υβριδικά συστήματα κίνησης. (Markovich, 2019)

2.3 Περιγραφή των δεδομένων καταγραφής

Περιγραφή των Δεδομένων

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρουσιάζονται σε τρεις στήλες αναλυτικά τα είδη των δεδομένων που συλλέχθηκαν από διαφορετικούς αισθητήρες κατά τη δοκιμή με το αυτοκίνητο. Ταξινομήθηκαν με τη σειρά που καταγράφονται από το καταγραφικό σύστημα SSM4. Στην πρώτη στήλη αναγράφεται η ονομασία του αισθητήρα όπως σημειώνεται από το καταγραφικό σύστημα της SUBARU, υπάρχουν άλλες δύο εξηγηματικές στήλες δίπλα από τον κάθε αισθητήρα. Στη δεύτερη στήλη αναγράφεται, όπου αυτή είναι εφικτή, η τιμή του αισθητήρα όπως αναγνωρίζεται από το διαγνωστικό λογισμικό της SUBARU. Στην τρίτη στήλη περιγράφεται συνοπτικά η λειτουργία του κάθε αισθητήρα.

Επεξηγηματικός Πίνακας Αισθητήρων:

Αισθητήρας	Μονάδα μέτρησης	Σύντομη περιγραφή
Sampling time	sec	Καταγράφει το χρόνο μεταξύ των δειγματοληψιών δεδομένων.
Coolant Temp.	°C	Μετρά τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού του κινητήρα σε °C.
A/F Correction #1	%	Ρυθμίζει το ποσοστό αέρα/καυσίμου για βελτιστοποίηση καύσης.
A/F Learning #1	%	Προσαρμόζει το ποσοστό αέρα/καυσίμου μακροπρόθεσμα.
Mani. Absolute Pressure	kPa	Μετρά την απόλυτη πίεση στην πολλαπλή εισαγωγής.
Engine Speed	rpm	Παρακολουθεί την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (RPM).
Vehicle Speed	km/h	Μετρά την ταχύτητα του οχήματος.
Ignition Timing	deg	Καταγράφει τον χρονισμό ανάφλεξης στον κινητήρα.
Intake Air Temp.	°C	Μετρά τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγή σε °C.
Mass Air Flow	g/s	Μετρά τη μάζα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα ανά δευτερόλεπτο.
Throttle Opening Angle	%	Παρακολουθεί τη γωνία ανοίγματος της πεταλούδας.
Rear O2 Sensor	V	Μετρά τα επίπεδα οξυγόνου στα καυσαέρια για έλεγχο καύσης.

Battery Voltage	V	Καταγράφει την τάση της μπαταρίας.
Air Flow Sensor Voltage	V	Τάση που παράγεται από τον αισθητήρα ροής αέρα.
Fuel Injection #1 Pulse	ms	Διάρκεια παλμού ψεκασμού καυσίμου.
Atmosphere Pressure	kPa	Μετρά την ατμοσφαιρική πίεση.
Mani. Relative Pressure	kPa	Σχετική πίεση στην πολλαπλή εισαγωγής αέρα.
Accel. Opening Angle	%	Ποσοστό ανοίγματος γωνίας του πεντάλ γκαζιού.
Primary Control	%	Ελέγχει βασικές λειτουργίες του κινητήρα.
CPC Valve Duty Ratio	%	Αναλογία λειτουργίας βαλβίδας ελέγχου πίεσης (CPC).
TGV Position Sensor R	V	Θέση της δεξιάς βαλβίδας TGV (Tumble Generator Valve).
TGV Position Sensor L	V	Θέση της αριστερής βαλβίδας TGV (Tumble Generator Valve).
Fuel Pump Duty	%	Ελέγχει την απόδοση της αντλίας καυσίμου.
VVT Adv. Ang. Amount R	deg	Προσαρμογή γωνίας VVT (μεταβλητού χρονισμού) δεξιά.
VVT Adv. Ang. Amount L	deg	Προσαρμογή γωνίας VVT (μεταβλητού χρονισμού) αριστερά.
OCV Duty R	%	Αναλογία λειτουργίας βαλβίδας OCV δεξιά.
OCV Duty L	%	Αναλογία λειτουργίας βαλβίδας OCV αριστερά.
OCV Current R	mA	Ρεύμα της δεξιάς OCV.
OCV Current L	mA	Ρεύμα της αριστερής OCV.
A/F Sensor #1 Current	mA	Ρεύμα στον αισθητήρα αέρα/καυσίμου.
A/F Sensor #1 Resistance	ohm	Αντίσταση του αισθητήρα αέρα/καυσίμου.
A/F Sensor #1	-	Παρέχει δεδομένα για τον λόγο αέρα/καυσίμου.
A/F Correction #3	%	Πρόσθετη ρύθμιση λόγου αέρα/καυσίμου.
Throttle Motor Duty	%	Αναλογία λειτουργίας του μοτέρ της πεταλούδας γκαζιού.
Throttle Motor Voltage	V	Τάση του μοτέρ της πεταλούδας γκαζιού.

Sub-Throttle Sensor	V	Παρακολουθεί τη δευτερεύουσα πεταλούδα γκαζιού.
Main-Throttle Sensor	V	Παρακολουθεί την κύρια πεταλούδα γκαζιού.
Sub-Accelerator Sensor	V	Δευτερεύων αισθητήρας επιτάχυνσης.
Main-Accelerator Sensor	V	Κύριος αισθητήρας επιτάχυνσης.
Memorized Cruise Speed	km/h	Καταχωρισμένη ταχύτητα για τον έλεγχο ταξιδιού (cruise control).
Odometer	km	Η συνολική απόσταση που έχει διανύσει το όχημα σε χλμ την στιγμή που συνδέεται το λογισμικό με το όχημα.
Roughness Monitor #1	-	Παρακολουθεί την ομαλότητα καύσης στο κύλινδρο 1.
Roughness Monitor #2	-	Παρακολουθεί την ομαλότητα καύσης στο κύλινδρο 2.
Roughness Monitor #3	-	Παρακολουθεί την ομαλότητα καύσης στο κύλινδρο 3.
Roughness Monitor #4	-	Παρακολουθεί την ομαλότητα καύσης στο κύλινδρο 4.
Neutral Position Switch	-	Ανιχνεύει αν το κιβώτιο είναι στη "νεκρά" ταχύτητα (Neutral).
Idle Switch Signal	-	Σήμα για τη θέση ρελαντί.
Ignition Switch	-	Καταγράφει την κατάσταση του διακόπτη ανάφλεξης.
P/S Switch	-	Ανιχνεύει τη λειτουργία της αντλίας υδραυλικού τιμονιού.
A/C Switch	-	Σήμα για την ενεργοποίηση του κλιματιστικού.
Starter Switch	-	Καταγράφει την κατάσταση του εκκινητή (μίζα).
Rear O2 Rich Signal	-	Ενδείξεις πλούσιου μείγματος από τον πίσω αισθητήρα O2.
Knocking Signal	-	Ανιχνεύει προανάφλεξη (χτύπημα).
Crankshaft Position Sig.	-	Σήμα για τη θέση του στροφαλοφόρου άξονα.
Camshaft Position Sig.	-	Σήμα για τη θέση του εκκεντροφόρου άξονα.
Rear Defogger SW	-	Σήμα για την αντίσταση ξεθάμπωσης πίσω τζαμιού.
Blower Fan SW	-	Σήμα για το ανεμιστήρα καμπίνας.

Light Switch	-	Σήμα για την κατάσταση των φώτων.
A/C Mid Pressure Switch	-	Ανιχνεύει μέση πίεση του A/C.
A/C Compressor Signal	-	Σήμα για τη λειτουργία του συμπιεστή A/C.
Radiator Fan Relay #1	-	Έλεγχος για τα ρελέ του ανεμιστήρα 1 του ψυγείου.
Radiator Fan Relay #2	-	Έλεγχος για τα ρελέ του ανεμιστήρα 2 του ψυγείου.
TGV Output	-	Κατάσταση της βαλβίδας Tumble Generator Valve στην έξοδο αέρα.
TGV Drive	-	Κατάσταση της βαλβίδας Tumble Generator Valve κατά την οδήγηση.
ETC Motor Relay	-	Ρελέ του κινητήρα ETC (ηλεκτρονικής πεταλούδας).
Clutch Switch	-	Ανιχνεύει την κατάσταση του συμπλέκτη.
Stop Light Switch	-	Σήμα για τα φώτα φρένων.
SET/COAST Switch	-	Χειρισμός ταχύτητας στον έλεγχο ταξιδιού (cruise control).
RESUME/ACCEL Switch	-	Ανάκληση ή επιτάχυνση με έλεγχο ταξιδιού (cruise control).
Brake Switch	-	Ανιχνεύει την ενεργοποίηση του φρένου.
Main Switch	-	Κεντρικός διακόπτης ελέγχου.
CC Cancel SW	-	Ακύρωση του ελέγχου ταξιδιού (cruise control).
AT Vehicle ID Signal	-	Αναγνωριστικό οχήματος με αυτόματο κιβώτιο.
ALT Duty	%	Λειτουργία του εναλλάκτη (alternator).
Test Mode Signal	-	Σήμα για δοκιμαστική λειτουργία.
Wiper Switch	-	Ανιχνεύει την κατάσταση του διακόπτη υαλοκαθαριστήρων.
Knocking Correction	deg	Διόρθωση για προανάφλεξη.
Fuel Level	V	Μετρά την ποσότητα καυσίμου στο ρεζερβουάρ.
Exhaust Gas Temperature	°C	Μετρά τη θερμοκρασία των καυσαερίων.
Mark	-	Σημείο αναφοράς για δεδομένα ή διαδικασίες.

Πίνακας 1 – Τα είδη των δεδομένων που κατεγράφησαν από τους διαφορετικούς αισθητήρες και οι τιμές μέτρησής τους. Από τον συγγραφέα.

Σημείωση: για τους αισθητήρες που η λειτουργία τους είναι τύπου ON/OFF στη στήλη που δείχνει τη μονάδα μέτρησης έχει προστεθεί η τιμή «-».

Ελλείψεις δεδομένων

Για την περίπτωση που στα δεδομένα υπάρχουν κελιά που για οποιοδήποτε λόγο δεν καταγράφηκε τιμή από κάποιο αισθητήρα πρέπει να καθοριστεί η τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί για τη συμπλήρωση αυτών. Στο δείγμα μας καταγράφηκαν τιμές ανά 0,6 δευτερόλεπτα. Προτείνεται η γρήγορη και απλή μέθοδος του κινούμενου μέσου (Moving Average). Με τον κινούμενο μέσο σε μία εκλιπούσα τιμή θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των τιμών των γειτονικών κελιών, δηλαδή της προηγούμενης καταγραφής ανά στήλη και της αμέσως επόμενης τιμής. Στα δεδομένα που καταγράφηκαν κατά την οδήγηση δεν υπήρξαν κελιά με μη καταχωρισμένες τιμές, Ωστόσο αν υπήρχαν θα γινόταν χρήση της παραπάνω μεθόδου.

3 Επεξεργασία δεδομένων

Στις επόμενες υποενότητες περιγράφονται αναλυτικά οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων που καταγράφηκαν από τη δοκιμή με το αυτοκίνητο καθώς και τα στάδια της επεξεργασίας αυτών μέσω του λογισμικού ORANGE, ώστε να προκύψουν τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας.

3.1 Λογισμικό ORANGE

Το ORANGE είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανοιχτού κώδικα (open source) που αναπτύσσεται από το Πανεπιστήμιο της Λιουμπλιάνα και χρησιμοποιείται ευρέως σε ακαδημαϊκά και επαγγελματικά περιβάλλοντα. Χρησιμοποιείται κυρίως για **ανάλυση δεδομένων, μηχανική μάθηση (ML) και εξόρυξη δεδομένων (data mining)**, προσφέροντας ένα φιλικό και εύχρηστο περιβάλλον για τον τελικό χρήστη. Παρακάτω περιγράφονται βασικά χαρακτηριστικά αυτού.

Περιβάλλον Drag and Drop

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι ότι επιτρέπει την εύκολη δημιουργία ροών εργασίας ανάλυσης δεδομένων χωρίς την ανάγκη για ανάπτυξη κώδικα. Μέσα από γραφικά εργαλεία και διαδραστικούς πίνακες, οι χρήστες μπορούν να κατανοήσουν και να επεξεργαστούν τα δεδομένα τους χωρίς την ανάγκη να γράψουν κώδικα ή να γνωρίζουν προγραμματισμό υπολογιστών. Με τη δυνατότητα **Drag-and-Drop** (δηλαδή, μεταφορά και απόθεση), το ORANGE χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της επιστήμης δεδομένων και της μηχανικής μάθησης χάρη στο φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον του και στις ισχυρές του δυνατότητες.

Επομένως μέσα από ένα απλό και εύχρηστο περιβάλλον "drag-and-drop", σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να συνδυάζουν διάφορες λειτουργίες και αναλύσεις, απλά μετακινώντας εικονίδια στην οθόνη τους, χωρίς να χρειαστεί να γράψουν κώδικα ή να μάθουν γλώσσες προγραμματισμού όπως Java, C++, ή Python.

Οπτικοποίηση των δεδομένων

Με σαφή οπτικοποίηση των δεδομένων, μπορούν να βλέπουν γρήγορα τα αποτελέσματα και να κατανοούν τα δεδομένα τους καλύτερα, ακόμα και αν δεν έχουν προηγούμενη εμπειρία και γνώση στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων. Μπορούν επίσης να εκπαιδεύουν τα μοντέλα τους και να τα αξιολογούν με λίγο μόνο 'clicks' του ποντικιού τους. Είναι πολύ χρήσιμα τα διαγράμματα που περιλαμβάνει, όπως Scatter plots, Box plots, Heatmaps και PCA, για την ευπαρουσίαση προβολή δεδομένων.

Επεξεργασία Δεδομένων

Το ORANGE υποστηρίζοντας τα Google Sheets επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων από το διαδίκτυο με πολύ απλό τρόπο. Μπορεί, για παράδειγμα ένας χρήστης, να αντλήσει δεδομένα από μια ιστοσελίδα όταν του δώσουμε το σύνδεσμο (URL) της σελίδας. Αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά εξαιρετικά χρήσιμο για ανθρώπους που χρειάζονται εύκολη και γρήγορη πρόσβαση σε δεδομένα από το διαδίκτυο, χωρίς να έχουν ιδιαίτερες τεχνικές γνώσεις.

Πολύ σημαντικό είναι ότι παρέχει δυνατότητες προεπεξεργασίας, επιλογής και διαχείρισης των δεδομένων, καθώς μπορεί να συνεργαστεί με τη γλώσσα προγραμματισμού Python, όπου πιο προχωρημένοι χρήστες μπορούν να γράψουν κώδικα Python μέσω του «Python Script» widget.

Τέλος, είναι ένα εργαλείο που υποστηρίζει ταξινόμηση, παλινδρόμηση και συσταδοποίηση (clustering) με αλγορίθμους όπως τους Random Forest, DBSCAN και k-Means. Δηλαδή υποστηρίζεται και η ανάπτυξη ροών εργασίας που περιλαμβάνουν υπολογισμούς μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Για όλα τα παραπάνω, το ORANGE ξεχωρίζει ως ένα εργαλείο που συνδυάζει ευκολία, ευελιξία και πλήρη υποστήριξη, προσαρμόζοντας τις δυνατότητές του στις ανάγκες κάθε χρήστη. Με τα διαθέσιμα πρόσθετα (add-ons), οι χρήστες μπορούν να επεκτείνουν τις λειτουργίες του εύκολα, ενώ η ισχυρή διαδικτυακή κοινότητα και οι επιλογές εκπαίδευσης προσφέρουν συνεχή βοήθεια.

Τα κύρια πλεονεκτήματά του έγκεινται στις ισχυρές δυνατότητες οπτικοποίησης και στη δυναμική υποστήριξη από την κοινότητα, που το καθιστούν ιδιαίτερα προσβάσιμο σε χρήστες με περιορισμένη εμπειρία στη μηχανική μάθηση.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το ORANGE γιατί προσφέρει έναν ευέλικτο τρόπο ανάλυσης δεδομένων, κατάλληλο τόσο για αρχάριους όσο και για έμπειρους αναλυτές, και η αξιοποίηση των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι απαραίτητη για το σκοπό της εργασίας αυτής. (University of Ljubljana, 2025)

3.2 Αλγόριθμος DBSCAN

Ο **DBSCAN** (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) είναι ένας αλγόριθμος μη εποπτευόμενης μάθησης που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση συστάδων (clusters) σε σύνολα δεδομένων με αυθαίρετα σχήματα και παρουσία θορύβου. Εισήχθη από τους Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander και Xiaowei Xu το 1996, και έκτοτε έχει καθιερωθεί ως ένας από τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους κατηγοριοποίησης βασισμένους στην πυκνότητα.

Ο DBSCAN στηρίζεται στην ιδέα ότι ένα σύνολο σημείων σχηματίζει ένα «πυκνό» σύμπλεγμα, εφόσον κάθε σημείο διαθέτει αρκετούς κοντινούς γείτονες εντός μίας προκαθορισμένης απόστασης. Ο αλγόριθμος απαιτεί δύο βασικές παραμέτρους:

- **e (έψιλον):** η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων ώστε να θεωρούνται γειτονικά,
- **MinPts:** ο ελάχιστος αριθμός γειτόνων που απαιτείται για να χαρακτηριστεί ένα σημείο ως «κεντρικό».

Ο αλγόριθμος διακρίνει τα σημεία σε τρεις κατηγορίες:

1. **Κεντρικά σημεία (core points):** σημεία με τουλάχιστον "MinPts" γείτονες εντός απόστασης ϵ .
2. **Σημεία συνόρου (border points):** σημεία που δεν είναι χαρακτηρισμένα σαν κεντρικά, αλλά βρίσκονται εντός απόστασης " ϵ " από κάποιο κεντρικό σημείο.
3. **Θόρυβος (noise points ή outliers):** σημεία που δεν ανήκουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες.

Η διαδικασία του DBSCAN ξεκινάει από ένα τυχαίο μη επισκεφθέν σημείο. Εάν αυτό το σημείο είναι κεντρικό, σχηματίζεται ένα νέο σύμπλεγμα και όλα τα σημεία εντός της ϵ -γειτονιάς που πληρούν το κριτήριο MinPts προστίθενται στο σύμπλεγμα. Ο αλγόριθμος επεκτείνει επαναληπτικά το σύμπλεγμα προσθέτοντας νέα κεντρικά σημεία και τους γείτονές τους. Εάν ένα σημείο δεν είναι κεντρικό και δεν μπορεί να προσαρτηθεί σε υπάρχον σύμπλεγμα, χαρακτηρίζεται ως θόρυβος.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του DBSCAN είναι η **ικανότητα ανίχνευσης συστάδων αυθαίρετων σχημάτων**, σε αντίθεση με αλγόριθμους όπως ο k-means που υποθέτουν σφαιρική κατανομή. Επιπλέον, ο DBSCAN **δεν απαιτεί εκ των προτέρων τον**

αριθμό των συμπλεγμάτων, γεγονός που καθιστά τον αλγόριθμο πιο ευέλικτο σε άγνωστα ή ετερογενή δεδομένα.

Ωστόσο, η επιλογή των παραμέτρων ϵ και MinPts είναι κρίσιμη για την επίδοση του αλγορίθμου. Μικρές τιμές του ϵ μπορεί να οδηγήσουν σε πολλές μικρές συστάδες ή θόρυβο, ενώ πολύ μεγάλες τιμές ενδέχεται να συγχωνεύσουν διαφορετικές συστάδες. Διάφορες τεχνικές, όπως η ανάλυση του γραφήματος απόστασης k -γείτονα (k -distance plot), έχουν προταθεί για την υποβοήθηση της παραμετροποίησης.

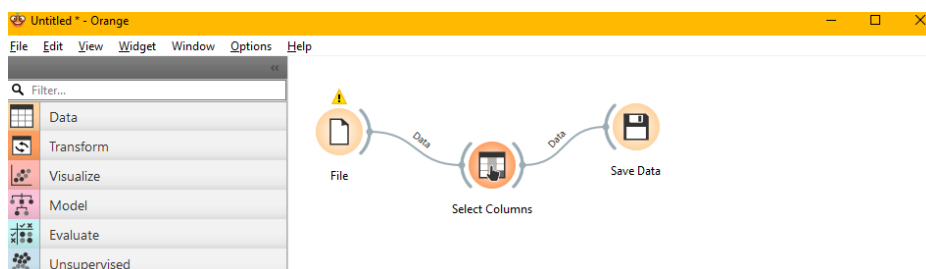
Ο DBSCAN παρουσιάζει καλή υπολογιστική απόδοση για μικρομεσαία σύνολα δεδομένων. Η πολυπλοκότητα μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση κατάλληλων δομών δέντρων (π.χ. k -d trees ή ball trees) για την αναζήτηση γειτόνων. Ωστόσο, σε δεδομένα υψηλών διαστάσεων (high-dimensional data), η απόδοση μπορεί να υποβαθμιστεί λόγω της αποκαλούμενης «κατάρας των διαστάσεων».

Συνοψίζοντας, ο DBSCAN αποτελεί έναν ισχυρό αλγόριθμο ομαδοποίησης για προβλήματα που απαιτούν ευελιξία ως προς το σχήμα των συστάδων και ανθεκτικότητα σε θόρυβο, καθιστώντας τον κατάλληλο για πληθώρα εφαρμογών, όπως ανάλυση χωρικών δεδομένων, αναγνώριση προτύπων και επεξεργασία εικόνας. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε για την ικανότητα ανίχνευσης συστάδων αυθαίρετων σχημάτων αλλά και για τον εντοπισμό σημείων που είναι στο όριο του θορύβου (outliers).

3.3 Απομόνωση-διαλογή τιμών του δείγματος

Εισαγωγή για την φόρτωση δεδομένων

Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν είναι η εφαρμογή "ORANGE" (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 -Widgets από το ORANGE

Στο παραπάνω στιγμιότυπο από την εφαρμογή φαίνεται, μέσω διαγραμματικής ροής, η διαδικασία που ακολουθήθηκε αρχικά. Έγινε η φόρτωση των δεδομένων και η επεξεργασία αυτών. Πιο αναλυτικά, αφού έγινε επιτυχής φόρτωση των δεδομένων από το excel αρχείο, που δημιουργήθηκε από το λογισμικό "Subaru Select Monitor-SSM4", στο widget «**File**», έγινε η επιλογή των στηλών του δείγματος που θα χρησιμοποιηθούν τελικά στην ανάλυση από το widget «**Select Columns**». Έπειτα το τελικό και πιο "ελαφρύ" αρχείο που θα χρησιμοποιηθεί αποθηκεύτηκε μέσω του widget «**Save Data**» σε αρχείο τύπου excel (.xls) με σκοπό την εισαγωγή του εκ νέου στο ORANGE.

Επιλογή αισθητήρων

Για την άσκηση που πραγματοποιήθηκε, όπως είναι φυσικό σε ένα δείγμα με τόσες πολλές παραμέτρους, για να εξαγάγει κάποιος χρήσιμα και ουσιαστικά συμπεράσματα θα πρέπει το Ψηφιακό Δίδυμο Αυτοκινήτου

δείγμα να "καθαριστεί" από χαρακτηριστικά που δημιουργούν "θόρυβο" πριν αυτά χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Οι περισσότεροι από τους αισθητήρες που καταγράφηκαν, απεικονίζουν την κατάσταση ενός μέρους του οχήματος σε ON ή OFF κατάσταση. Ακόμα, αισθητήρες που δεν αφορούν τον κινητήρα αλλά και αισθητήρες με μεταβλητές που είναι δυαδικές (TRUE/FALSE), δηλαδή τύπου "Boolean", μπορούν με ασφάλεια να μην χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο αισθητήρας "Brake Switch", όπου μας δείχνει τη θέση του διακόπτη του φρένου. Ο παραπάνω αισθητήρας όπως και αρκετοί ακόμα μπορούν να αφαιρεθούν από την ανάλυση που θα τρέξει, καθώς πληροφορία σαν και αυτή δεν συνδέεται με τη λειτουργία του κινητήρα. Τέλος επειδή το λογισμικό SSM4 εφαρμόζει σε πολλά μοντέλα της μάρκας SUBARU είναι λογικό κατά την καταγραφή των δεδομένων, αισθητήρες που δεν υπάρχουν στο αυτοκίνητο της δοκιμής, να έχουν την ίδια τιμή σε όλες τα στιγμιότυπα των χρονικών μετρήσεων (Sampling Time), επομένως κρίνεται απαραίτητο αυτοί οι αισθητήρες να μην ληφθούν υπόψιν στο μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται πάρα πολύ ο "θόρυβος" που δημιουργείται από τέτοιου τύπου δεδομένα σαν τα παραπάνω.

Σκοπός είναι να κρατήσουμε τις τιμές των αισθητήρων που θα δώσουν χρήσιμα συμπεράσματα στο μοντέλο, το οποίο θα τρέξει στην εφαρμογή ανάλυσης δεδομένων, "ORANGE".

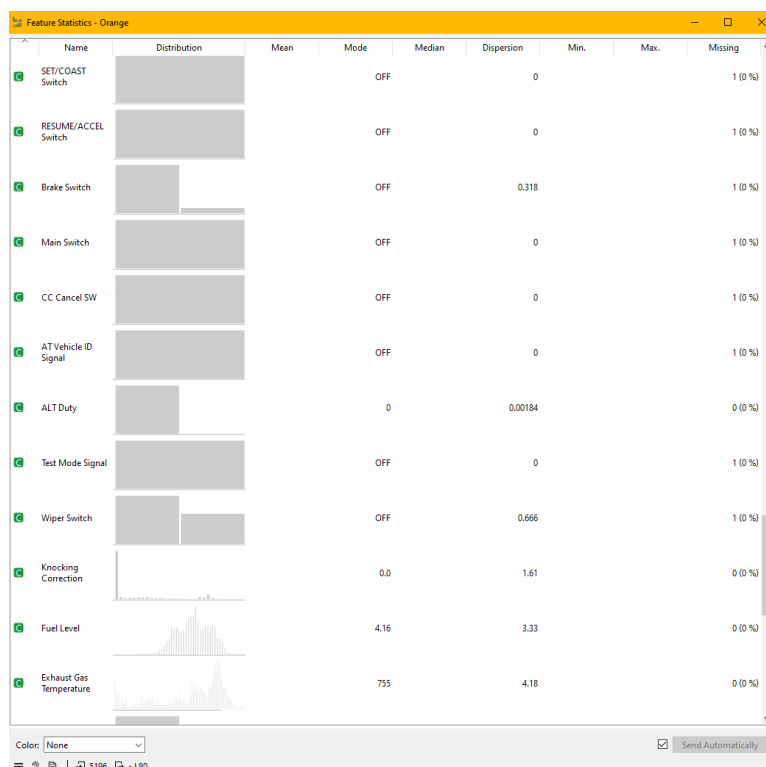
Παρακάτω αναλύονται οι δεκαεννέα (19) αισθητήρες από τον παραπάνω πίνακα, όπου **δεν** θα χρησιμοποιηθούν καθώς δεν αποτελούν άμεση ένδειξη για τη λειτουργία του κινητήρα του οχήματος.:

"Battery Voltage", "Air Flow Sensor Voltage", "Atmosphere Pressure", "Primary Control", "Fuel Pump ,Duty", "Memorized Cruise Speed", "Neutral Position Switch", "Idle Switch Signal", "P/S Switch", "A/C ,Switch", "Rear O2 Rich Signal", "A/C Compressor Signal", "Radiator Fan Relay #1", "Radiator Fan ,Relay #2", "Stop Light Switch", "Brake Switch", "Wiper Switch", "Fuel Level"

Επίσης **δεν** θα προσμετρηθούν όσοι αισθητήρες έχουν σε όλες τις γραμμές του δείγματος ακριβώς την ίδια τιμή. Μία τέτοιου είδους πληροφορία, δεν θα δώσει χρήσιμα συμπεράσματα για το μοντέλο που θα προσπαθήσουμε να δημιουργήσουμε. Επομένως από το δείγμα που θα φορτώσουμε στην εφαρμογή ORANGE, θα αφαιρεθούν και οι γραμμές των παρακάτω εικοσιένα (21) αισθητήρων:

"Odometer", "Ignition Switch", "Starter Switch", "Knocking Signal", "Crankshaft Position Sig.", "Camshaft Position Sig.", "Rear Defogger SW", "Blower Fan SW", "Light Switch", "TGV Output", "TGV Drive", "ETC Motor Relay", "Clutch Switch", "SET/COAST Switch", "RESUME/ACCEL Switch", "Main Switch", "CC Cancel SW", "AT Vehicle ID Signal", "ALT Duty", "Test Mode Signal", "Mark".

Για την παραπάνω επιλογή έγινε χρήση του «**Feature Statistics**» widget του ORANGE, το οποίο με μία γρήγορη ματιά επιτρέπει στο χρήστη, από τη στήλη "Distribution", να δει την κατανομή των τιμών του κάθε χαρακτηριστικού. Στη δική μας περίπτωση την τιμή του κάθε αισθητήρα. Το παρακάτω ραβδόγραμμα (εικόνα 6) βοηθάει στην επιβεβαίωση για την αφαίρεση των αισθητήρων που δεν έχουμε μεταβολές στην κατανομή τους και δεν είναι κατηγορικές μεταβλητές, τύπου ON-OFF.



Εικόνα 6 - Ενδεικτική εικόνα ραβδογράμματος των αισθητήρων από το Widget «Feature Statistics»

Μετά την εξαίρεση των παραπάνω αισθητήρων έχουμε μειώσει το δείγμα στα 40 χαρακτηριστικά. Έχοντας τους υπόλοιπους 40 αισθητήρες που σχετίζονται θα προχωρήσουμε στην μείωση των χαρακτηριστικών που θα τρέξει το μοντέλο μη εποπτευόμενης μάθησης καθώς ο αριθμός εξακολουθεί να είναι μεγάλος ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Θα γίνει επίσης χρήση του λογισμικού ORANGE και μέσω αυτού θα γίνει μία προετοιμασία των δεδομένων για την τελική εισαγωγή των δεδομένων στον αλγόριθμο που θα επιλεγεί.

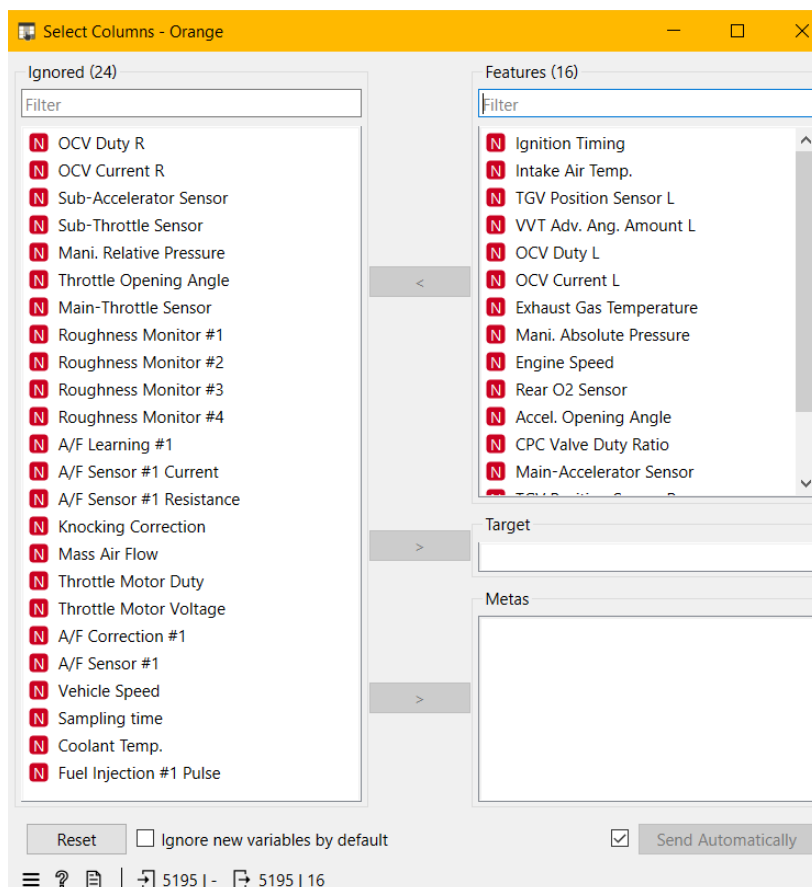
Επομένως οι αισθητήρες που δεν σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία του κινητήρα και αποτελούν εξωτερικά εξαρτήματα αυτού, **δεν** θα χρησιμοποιηθούν, καθώς οι τιμές τους μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το είδος και το έδαφος της οδήγησης. Για παράδειγμα θα αφαιρεθεί ο αισθητήρας που μετρά την ταχύτητα του οχήματος "Vehicle Speed", καθώς η λειτουργία του κινητήρα ως προς τις στροφές διαφέρει όταν το αμάξι κινείται σε κατηφόρα. Επομένως αφού είναι οι στροφές λιγότερες σε σχέση με την κίνηση σε ανηφόρα δεν μπορούμε να συσχετίσουμε την ταχύτητα του οχήματος με τη λειτουργία κάποιου εξαρτήματος του οχήματος. Αντίστοιχη περίπτωση είναι και ο χρόνος (sec) που έγινε η λήψη της καταγραφής, οπότε θα αποτελέσει εξαίρεση και το χαρακτηριστικό "Sampling time".

Σημαντικό εργαλείο για να μας βοηθήσει στην μείωση των χαρακτηριστικών είναι και ο δείκτης συσχέτισης που μας δείχνει το widget «Correlation» του ORANGE. Όπως φαίνεται ενδεικτικά και στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 7-11) ανά ζεύγη αισθητήρων υπάρχει συσχέτιση η οποία αν δεν φτάνει στο 1, δηλαδή 100% συσχέτιση, πλησιάζει πάρα πολύ κοντά σε αυτό. Επομένως είναι σημαντικό να αξιοποιηθεί η συσχέτιση αυτή, ώστε να μειωθούν τα χαρακτηριστικά που θα εισαχθούν στο μοντέλο εκμάθησης και να γίνει αξιοποίηση ουσιαστικά της πληροφορίας για τη ζωή του κινητήρα.

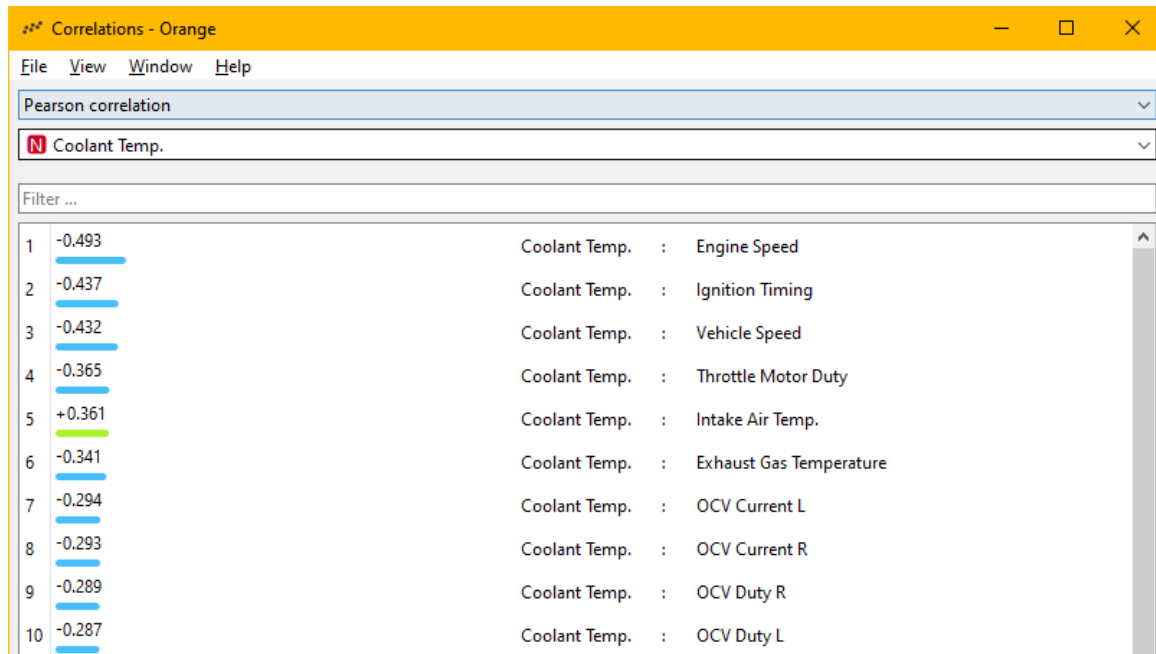
Επίσης στα δεδομένα που συλλέχθηκαν υπάρχουν συσχετίσεις που αφορούν τα ίδια μέρη του κινητήρα αλλά η μέτρηση έγινε από διαφορετικούς αισθητήρες. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι ότι η γωνία ανοίγματος της πεταλούδας του γκαζιού (αισθητήρας "Throttle Opening Angle") σχετίζεται με το ρεύμα που δέχεται το μοτεράκι της πεταλούδας του γκαζιού (αισθητήρας "Throttle Motor Duty"). Αντίστοιχες συσχετίσεις βοηθούν στην απομόνωση χαρακτηριστικών του δείγματος ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του. Τέλος απομονώθηκαν και αισθητήρες όπου δεν παρουσιάστηκε μεγάλη συσχέτιση και εξαρτώνται οι τιμές τους και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, όπως τον αισθητήρα θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού "Coolant Temp."

Όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνες 8-10) και από τον **αλγόριθμο συσχετίσεων Pearson αλλά και Spearman** μπορέσαμε να απομονώσουμε άλλες εικοσιτέσσερις (24) καταγραφές από τους αισθητήρες με τη χρήση του widget «Select Data»:

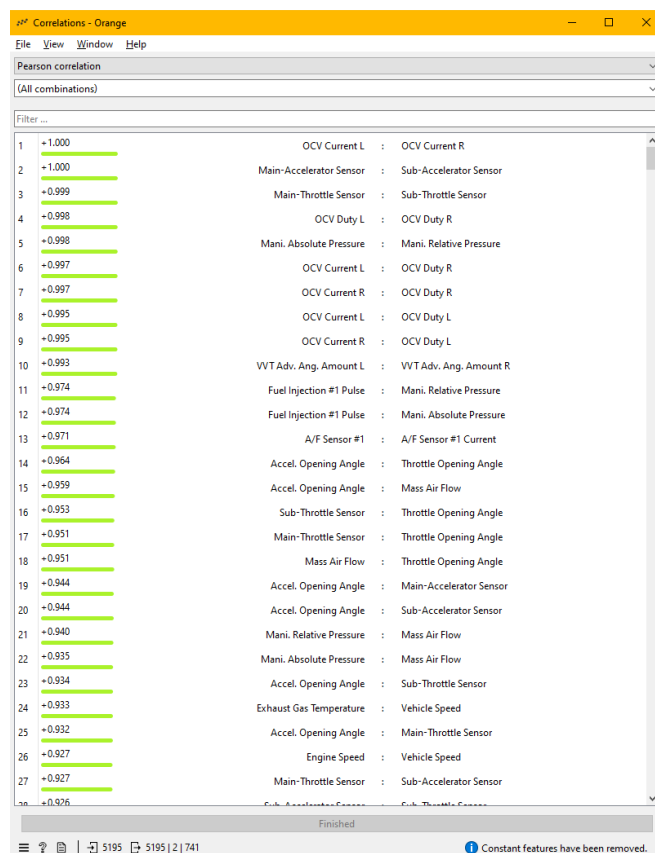
"Sampling time", "Coolant Temp.", "A/F Correction #1", "A/F Learning #1", "Vehicle Speed", "Mass Air Flow", "Throttle Opening Angle", "Fuel Injection #1 Pulse", "Mani. Relative Pressure", "OCV Current R", "OCV Current L", "A/F Sensor #1 Current", "A/F Sensor #1 Resistance", "A/F Sensor #1", "Throttle Motor Duty", "Throttle Motor Voltage", "Sub-Throttle Sensor", "Main-Throttle Sensor", "Sub-Accelerator Sensor", "Roughness Monitor #1", "Roughness Monitor #2", "Roughness Monitor #3", "Roughness Monitor #4", "Knocking Correction"



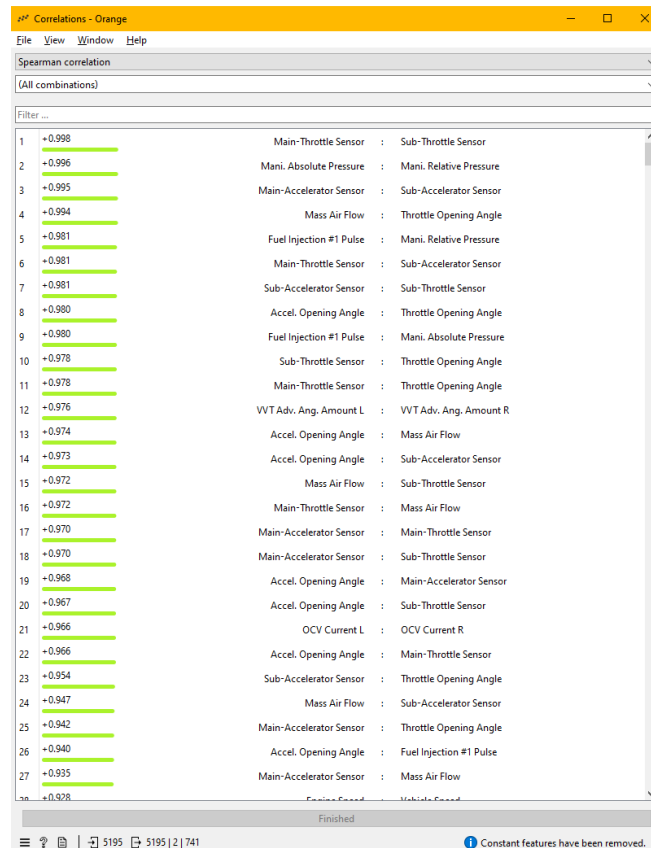
Εικόνα 7 - Επιλογή χαρακτηριστικών στο ORANGE «Select Columns» widget



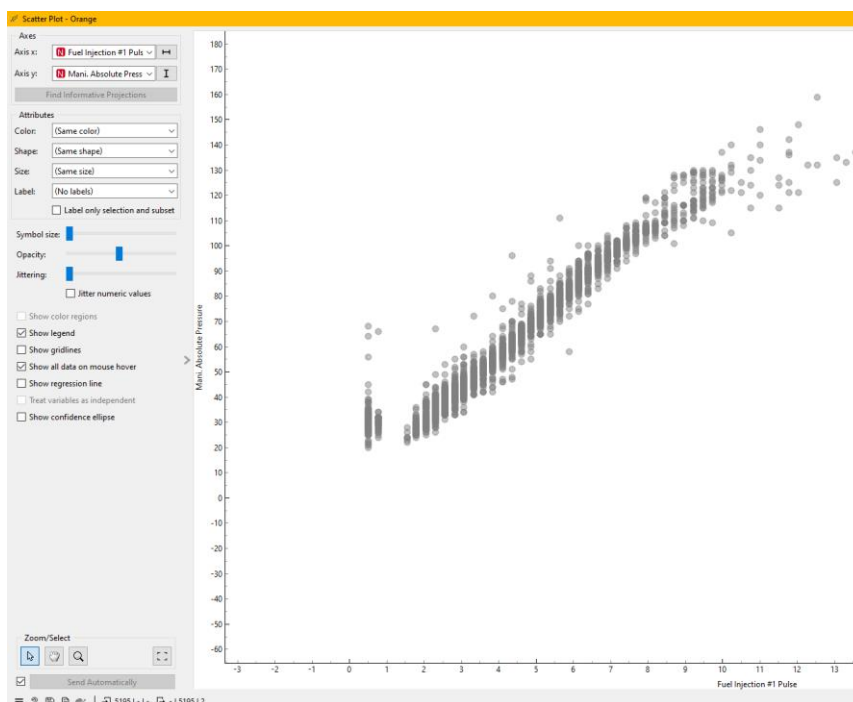
Εικόνα 8 - συσχέτιση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού με τους λοιπούς αισθητήρες



Εικόνα 9 - συσχέτιση όλων πιθανών συνδυασμών αισθητήρων βάσει Pearson



Εικόνα 10 - συσχέτιση όλων πιθανών συνδυασμών αισθητήρων βάσει Spearman



Εικόνα 11 - διάγραμμα τύπου Scatter για τους αισθητήρες απόλυτης πίεσης στην εισαγωγή αέρα του κινητήρα και της διάρκειας παλμού του ψεκασμού καυσίμου.

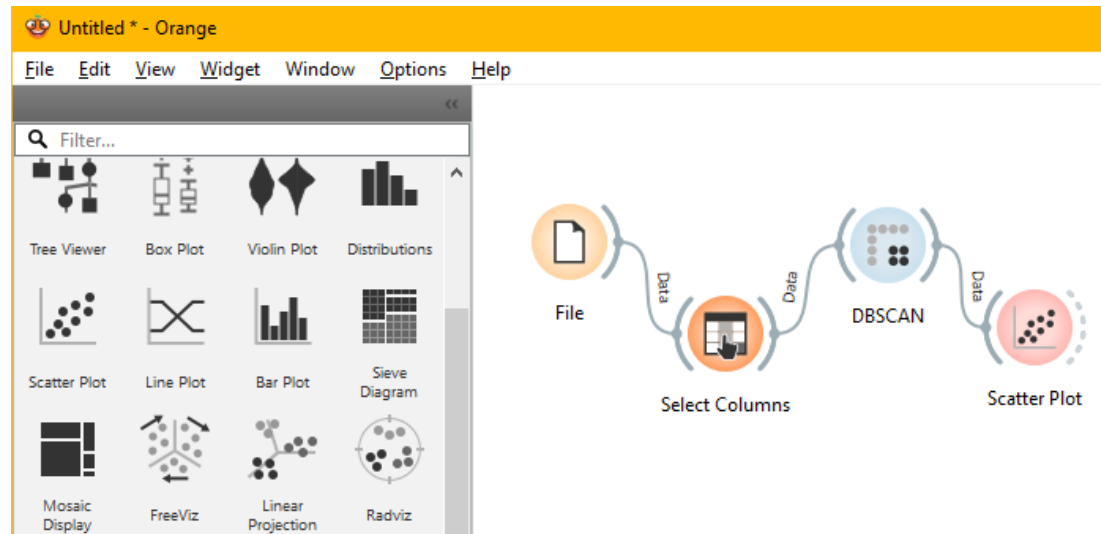
Επομένως τα 16 παρακάτω χαρακτηριστικά του δείγματος, **είναι αυτά που τροφοδότησαν το αλγοριθμικό μοντέλο** που χρησιμοποιήθηκε. Τα οποία είναι τα ακόλουθα:

"Mani. Absolute Pressure", "Engine Speed", "Ignition Timing", "Intake Air Temp.", "Rear O2 Sensor", "Accel. Opening Angle", "CPC Valve Duty Ratio", "TGV Position Sensor R", "TGV Position Sensor L", "VVT Adv. Ang. Amount R", "VVT Adv. Ang. Amount L", "OCV Duty R", "OCV Duty L", "A/F Correction #3", "Main-Accelerator Sensor", "Exhaust Gas Temperature"

3.4 Επεξεργασία δεδομένων

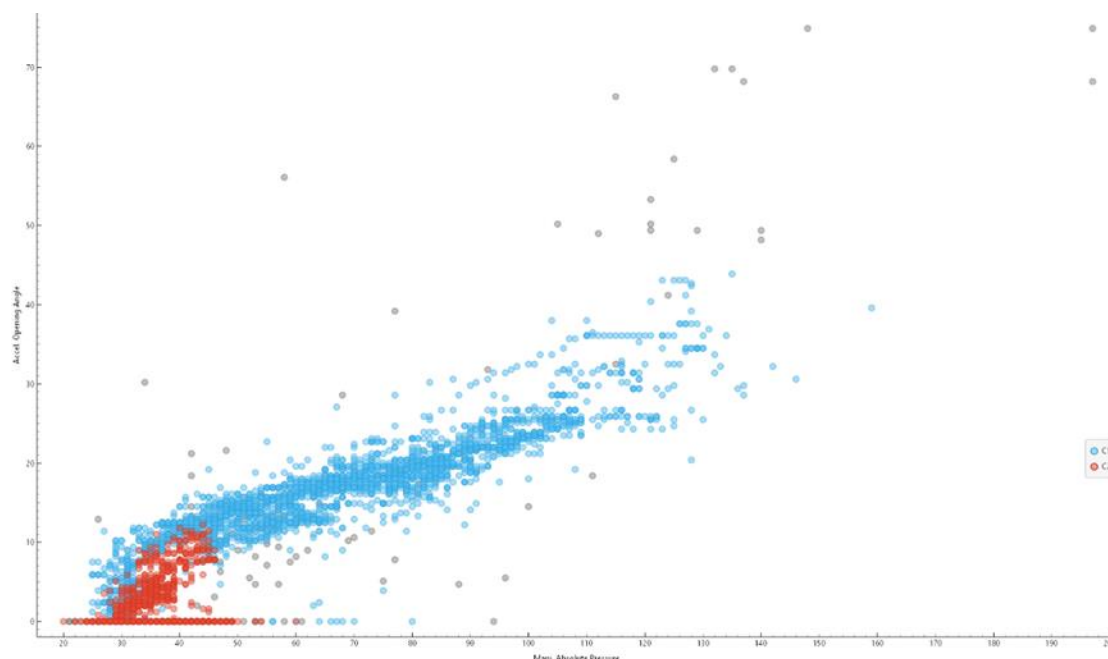
DBSCAN

Στη συνέχεια τα παραπάνω δεδομένα από τους αισθητήρες έτρεξαν από τον αλγόριθμο DBSCAN. Με τη βοήθεια του διαγράμματος Scatter σε όλα τα πιθανά ζεύγη αισθητήρων έγινε οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών με την ροή εργασίας όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 12). Από τους 16 αισθητήρες, οι μοναδικοί πιθανοί συνδυασμοί που προκύπτουν ανέρχονται στους 120 όπου και περιέχονται στο παράρτημα της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 12 – ροή εργασίας ORANGE για τον αλγόριθμο DBSCAN

Για παράδειγμα ύστερα από την εξαγωγή των διαγραμμάτων αυτών και μετά από μελέτη παρατηρείται ότι δημιουργούνται δύο συστάδες (clusters) για τους αισθητήρες της απόλυτης πίεσης (Mani. Absolute Pressure) στην πολλαπλή εισαγωγής σε σύγκριση με το ποσοστό ανοίγματος γωνίας του πεντάλ γκαζιού (Accel. Opening Angle). Όπως φαίνεται στην εικόνα 13 υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των παραπάνω αισθητήρων και εντοπίζονται επιτυχώς και outliers σημεία από τον αλγόριθμο DBSCAN. Είναι επίσης εμφανής και η συσταδοποίηση των δεδομένων σε συστάδες C1 και C2. Δηλαδή όταν το όχημα κινείται (C1) σε σχέση με όταν το όχημα είναι στάσιμο (C2). Η κίνηση του οχήματος προκύπτει καθώς ο άξονας Y αφορά το ποσοστό ανοίγματος πεταλούδας του γκαζιού με αποτέλεσμα όσο απομακρύνεται η τιμή του αισθητήρα "Accel. Opening Angle" από τον οριζόντιο άξονα X τόσο να αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα άρα μιλάμε για κίνηση του οχήματος.



Εικόνα 13 – συστάδες από τον DBSCAN για αισθητήρες Mani. Absolute Pressure_Accel. Opening Angle

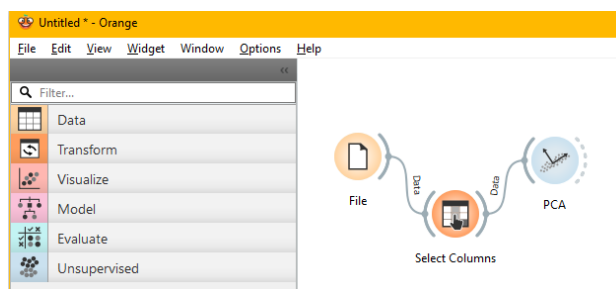
Αν και τα διαγράμματα του παραρτήματος βοηθούν πάρα πολύ στην ανάλυση των δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων δεν παύουν οι διαστάσεις του δείγματος να είναι πολλές και να επιβραδύνουν την ανάλυση ενώ αυξάνουν το υπολογιστικό “κόστος”. Γεγονός που χρήζει βελτίωσης και οδηγεί στη μείωση των διαστάσεων.

Μείωση διαστάσεων & PCA

Αν και περισσότερες διαστάσεις θεωρητικά σημαίνουν περισσότερη πληροφορία, πρακτικά δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στην ανάλυση των δεδομένων. Σύμφωνα και με την “κατάρα των διαστάσεων”, όσο αυξάνεται ο αριθμός των διαστάσεων τα δεδομένα αραιώνουν υπερβολικά και παράλληλα αυξάνεται η πολυπλοκότητα στον υπολογισμό, με αποτέλεσμα η σημασία των χαρακτηριστικών να εξισώνεται. Αν στο μοντέλο χρησιμοποιηθούν χαρακτηριστικά με πολύ μικρή συσχέτιση οι αποστάσεις που χρησιμοποιούνται από τους αλγόριθμους clustering θα επηρεάζονται από δεδομένα που δεν προσφέρουν χρήσιμη πληροφορία, πληροφορία δηλαδή που αξίζει πραγματικά. Επομένως προχωρήσαμε στη μείωση των διαστάσεων. (François, 2005)

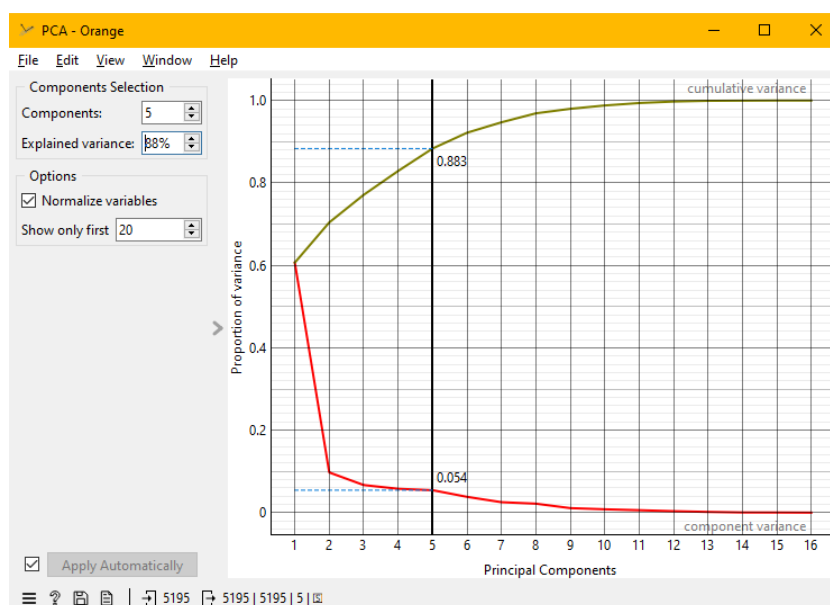
Επομένως για τη μείωση της υπολογιστικής δύναμης και των διαστάσεων, και παράλληλα διατηρώντας τη δομή του δείγματος έτρεξε η μέθοδος **Principal Component Analysis (PCA)**. Πρόκειται για μία στατιστική μέθοδο, βασισμένη στη γραμμική άλγεβρα, για τη μείωση διαστασιολόγησης (dimension reduction) μεγάλων σετ δεδομένων. Είναι μία τεχνική αλγορίθμου ώστε να εξετάζουμε καλύτερα τη συσχέτιση μεταξύ παρατηρήσεων με πολλαπλές μεταβλητές διατηρώντας όσο γίνεται περισσότερη πληροφορία στις παρατηρήσεις μας. Τα δεδομένα πρέπει να είναι ποσοτικά για να αποδώσει η μέθοδος PCA.

Ουσιαστικά στη συγκεκριμένη εργασία τα δεδομένα που θα προκύψουν από τον PCA είναι αυτά που τροφοδότησαν τον αλγόριθμο DBSCAN για ανάλυση και αξιολόγηση των δεδομένων μας.



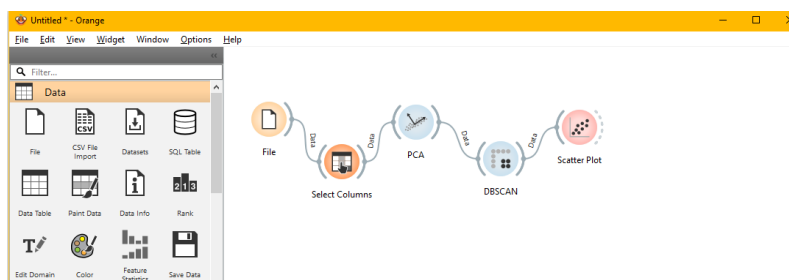
Εικόνα 14 - εισαγωγή δεδομένων στον PCA

Σε αυτό το σημείο, με τη βοήθεια του ORANGE widget «PCA» από την κατηγορία “Μη εποπτευόμενη μάθηση”, θα γίνει η επιλογή των συνιστωσών (Εικόνα 14). Γενικά, στον αλγόριθμο **PCA** το ποσοστό διακύμανσης που επιλέγεται εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή και τις απαιτήσεις του προβλήματος. Για την περίπτωση μας, που βρισκόμαστε σε φάση προκαταρκτικής ανάλυσης, η μείωση των διαστάσεων είναι πιο σημαντική από την ακρίβεια. Επομένως προτείνεται χρήση των πρώτων 5 συνιστωσών από τον PCA που επιτυγχάνεται διακύμανση 88% (Εικόνα 15).



Εικόνα 15 - διάγραμμα συνιστωσών PCA

Στη συνέχεια έτρεξε ο αλγόριθμος DBSCAN με την εισαγωγή των συνιστωσών από τον PCA (Εικόνα 16). Ο PCA φιλτράρει τις λιγότερο σημαντικές διαστάσεις, οι οποίες περιέχουν περισσότερο θόρυβο και λιγότερη πληροφορία με αποτέλεσμα ο DBSCAN να δουλεύει με δεδομένα τα οποία έχουν λιγότερα σημεία θορύβου (outliers) και να δημιουργεί συστάδες (clusters) με πιο σωστή πληροφορία.



Εικόνα 16 – ροή εργασίας Orange project

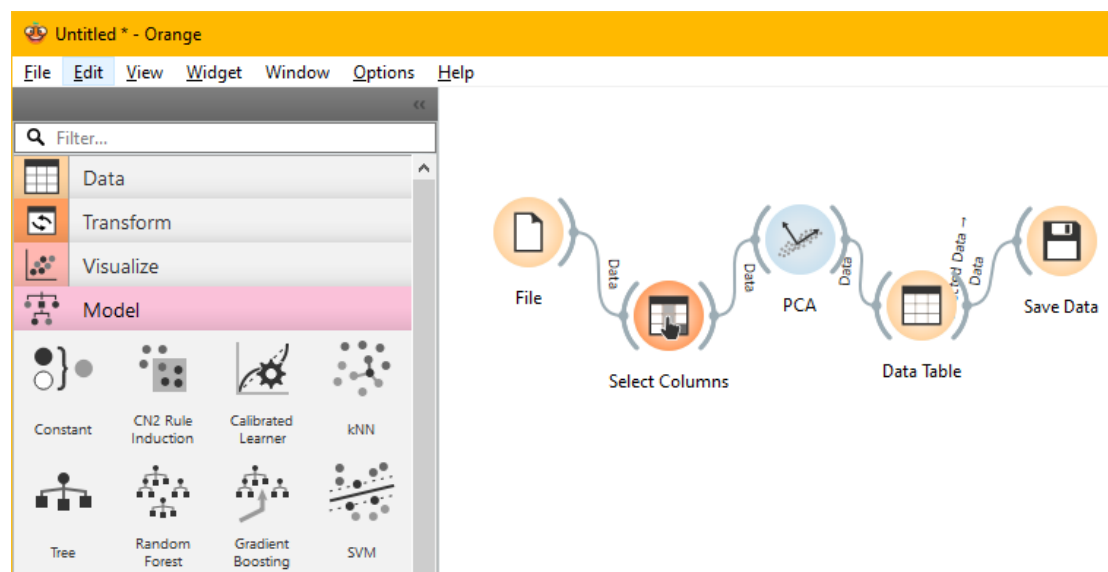
Για την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων του DBSCAN έγινε εξαγωγή των 10 μοναδικών συνδυασμών που προκύπτουν από τις πέντε (5) πρώτες συνιστώσες PCA. Γεγονός που αποδεικνύει και τη μείωση των διαστάσεων που πετύχαμε με τη χρήση του αλγορίθμου PCA πριν το DBSCAN. Ενδεικτικά, στην εικόνα 17 απεικονίζονται οι συστάδες που δημιουργήθηκαν βάσει των συνιστωσών PC1 και PC2, όπως και τα outliers που σκοπός ήταν να εντοπιστούν. Στο παράρτημα της εργασίας βρίσκονται τα διαγράμματα Scatter και των 10 συνδυασμών.



Εικόνα 17 - Clusters και Outliers από PC1&PC2 με τον DBSCAN

Βάρη

Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η παρακάτω ροή εργασίας (εικόνα 18) στο ORANGE, για την εξαγωγή του πίνακα βαρών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των PCA συνιστωσών. Εφόσον έγινε χρήση των 5 πρώτων συνιστωσών PCA, από το excel προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τους αισθητήρες με τα μεγαλύτερα βάρη βάσει απόλυτης τιμής.



Εικόνα 18 - εξαγωγή πίνακα βαρών των PCA συνιστωσών

	αισθητήρες με τα μεγαλύτερα βάρη ανά συνιστώσα PCA
PC1	OCV Current L
PC2	Mani. Absolute Pressure
PC3	TGV Position Sensor R
PC4	CPC Valve Duty Ratio
PC5	Ignition Timing

Επομένως μπορούμε να πούμε ότι στα διαγράμματα Scatter του παραρτήματος οι παραπάνω πέντε αισθητήρες είναι αυτοί που επηρεάζουν περισσότερο τις συνιστώσες PCA. Ωστόσο αξίζει να σταθούμε ότι ο DBSCAN εντόπισε ορθά outliers σημεία στο dataset μας. Το ότι εντοπίστηκαν outliers δεν είναι όμως απαραίτητο ότι υπάρχει πρόβλημα με τον κινητήρα του οχήματος. Τέτοια σημεία χρήζουν προσεκτικής αξιολόγησης και ανάλυσης.

3.5 Σημεία «Outliers»

Οι πιθανές αιτίες για τα σημεία outliers (ακραίες τιμές) που εντοπίστηκαν προηγουμένως μπορεί να είναι διάφορες. Πόσο μάλλον σε ένα όχημα όπως το αυτοκίνητο όπου οι συνθήκες οδήγησης μεταβάλλονται συνεχώς. Οι outliers σε ένα ψηφιακό δίδυμο (digital twin) αυτοκινήτου προκύπτουν για διάφορους λόγους, ανάλογα με την πηγή των δεδομένων αλλά και το πλαίσιο λειτουργίας του δίδυμου. Παρακάτω αναλύονται οι λόγοι που εμφανίστηκαν outliers από τον DBSCAN.

-Πιθανή βλάβη σε κάποιο εξάρτημα

Μπορεί να προκύψουν αισθητήρια σφάλματα (Sensor Errors). Για παράδειγμα ένας αισθητήρας θερμοκρασίας εισαγωγής αέρα του κινητήρα καταγράφει στιγμιαία 150°C ενώ η κανονική λειτουργία είναι στους 35°C. Το παραπάνω μπορεί να είναι ένα μεμονωμένο περιστατικό αλλά μπορεί και όχι στην περίπτωση που έχει αρχίσει η σταδιακή φθορά του αισθητήρα. Επομένως αν τα outliers με την πάροδο του χρόνου αυξάνονται με το ψηφιακό δίδυμο είμαστε σε θέση να εντοπίσουμε μία φθορά.

-Αναπάντεχες καταστάσεις λειτουργίας (rare events)

Αν προκύψουν μη αναμενόμενες καταστάσεις λειτουργίας του οχήματος μπορεί να δημιουργηθούν επίσης outliers. Δηλαδή αν στην οδήγηση συμβούν απότομα φρεναρίσματα, στροφές ή αλλαγές ταχύτητας που δεν συμβαίνουν συνήθως, αποτελούν και αυτά τα γεγονότα τα outliers. Για παράδειγμα μία απότομη επιτάχυνση που προκαλεί στιγμιαία απότομες εναλλαγές σε δεδομένα κινητήρα και μετάδοσης.

Ακόμα, ένα ρεαλιστικό παράδειγμα για οχήματα με θερμικούς κινητήρες μπορεί να είναι η κακή ποιότητα καυσίμου σε ένα όχημα. Καθώς οι τιμές των αισθητήρων που μετράνε τιμές του μείγματος εισαγωγής καυσίμου και συγκρίνονται από ένα ψηφιακό δίδυμο με τις τιμές των καυσαερίων, θα εντοπίσουν ακραία σημεία outliers στην περίπτωση νοθευμένου καυσίμου.

-Εξωγενείς περιβαλλοντικοί παράγοντες

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι το ίδιο ακριβώς όχημα μπορεί να οδηγείται σε τελείως διαφορετικό περιβάλλον και από διαφορετικούς οδηγούς. Επομένως ένα ολισθηρό οδόστρωμα ή μία κακοκαιρία μπορεί να δώσει outliers στο μοντέλο του ψηφιακού διδύμου. Άρα εξωγενείς παράγοντας όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος και το περιβάλλον οδήγησης δεν πρέπει να θεωρείται δεδομένο σε ένα ψηφιακό δίδυμο αυτοκινήτου. Ακόμα και παρεμβολές από άλλα οχήματα ή σήματα μπορεί να προκύψουν και να καταγραφούν τιμές που δεν ομαδοποιούνται σε clusters και ο αλγόριθμος να τα εντοπίσει σαν ακραία σημεία.

4 Συμπεράσματα Προτάσεις

4.1 Συμπεράσματα

Η έννοια του Ψηφιακού Διδύμου εξακολουθεί σαφώς να εξελίσσεται, όπως φαίνεται από την ποικιλία των νέων βιομηχανιών και περιπτώσεων χρήσης στις οποίες εφαρμόζεται. Αυτή η συνεχής εξέλιξη του εννοιολογικού πλαισίου αντικατοπτρίζεται επίσης στην έλλειψη συγκεκριμένων παραδειγμάτων που να επιδεικνύουν σαφή οφέλη από την πρακτική χρήση των Ψηφιακών Διδύμων. Παρά τη δημοτικότητα της έννοιας, αυτό έχει δημιουργήσει ερωτήματα σχετικά με την ικανότητα της τεχνολογίας να προσφέρει απτές βελτιώσεις σε σχέση με τις υπάρχουσες διαδικασίες. Επομένως η αλληλεπίδραση με τον άνθρωπο αποτελεί μία από τις βασικές προκλήσεις στην ανάπτυξη και εφαρμογή των Ψηφιακών Διδύμων στη βιομηχανική παραγωγή. Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα απαιτεί στο μέλλον επιτυχημένες εφαρμογές της τεχνολογίας στην πράξη.

Προκλήσεις και Προοπτικές

Παρά τις δυνατότητες, αναγνωρίζονται υπαρκτές προκλήσεις για την καθολική υιοθέτηση των DT στην αυτοκινητοβιομηχανία. Προκλήσεις όπως η **ποιότητα και ενοποίηση δεδομένων**, καθώς απαιτείται αξιόπιστη και συνεπής ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα η **έλλειψη ενιαίων προτύπων** δυσχεραίνει τη συνεργασία μεταξύ των αυτοκινητοβιομηχανιών. Θα πρέπει να βρεθεί ισορροπία στο **υπολογιστικό κόστος** καθώς η ακρίβεια προσομοίωσης και απόδοσης σε πραγματικό χρόνο είναι δύσκολη. Τέλος τίθεται θέμα συμπερίληψης της **κυβερνοασφάλειας** αφού οι συνδεδεμένες δομές των DT μπορεί να βρεθούν ευάλωτες και να απαιτούν προστασία.

Τα Ψηφιακά Δίδυμα μπορεί να φέρουν την επανάσταση στην αυτοκινητοβιομηχανία. Από τον σχεδιασμό και την παραγωγή, μέχρι τη χρήση, τη συντήρηση και την ασφάλεια, τα DT προσφέρουν ολιστικές λύσεις υψηλής τεχνολογίας.

Αξίζει να σταθούμε στην πρόσφατη έρευνα της McKinsey (2024) για το πως χρησιμοποιούν οι εταιρείες την τεχνολογία ψηφιακών διδύμων. Τονίζεται ότι το ενδιαφέρον για τα ψηφιακά δίδυμα, σε συνδυασμό με την ταχύτερη πρόοδο των υποστηρικτικών τεχνολογιών, ενισχύει τις εκτιμήσεις της αγοράς για επενδύσεις σε ψηφιακά δίδυμα που ξεπερνούν τα 48 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2026. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες προηγμένες εφαρμογές:

— **Emirates Team New Zealand:** Ένα ψηφιακό δίδυμο των θαλάσσιων περιβαλλόντων, των σκαφών και των μελών του πληρώματος επιτρέπει στην Emirates Team New Zealand να δοκιμάζει σχέδια σκαφών χωρίς να χρειάζεται να τα κατασκευάσει. Αυτό έχει επιτρέψει στην πρωταθλήτρια ομάδα ιστιοποΐας να αξιολογεί χιλιάδες—αντί για εκατοντάδες—σχέδια υδροπτέρυγων σκαφών.

— **Anheuser-Busch InBev:** Ένα ψηφιακό δίδυμο της διαδικασίας ζυθοποιίας και της εφοδιαστικής αλυσίδας επιτρέπει στους ζυθοποιούς να προσαρμόζουν τις εισροές με βάση τις τρέχουσες συνθήκες και μπορεί αυτόματα να αντισταθμίζει τα σημεία συμφόρησης στην παραγωγή (για παράδειγμα, όταν οι δεξαμενές είναι γεμάτες).

— **SoFi Stadium:** Για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης και των λειτουργιών του σταδίου, ένα ψηφιακό δίδυμο συγκεντρώνει δεδομένα από πολλαπλές πηγές, όπως πληροφορίες για τη δομή του σταδίου και δεδομένα αγώνων σε πραγματικό χρόνο.

— **Space Force:** Αυτός ο κλάδος των Ενόπλων Δυνάμεων των ΗΠΑ δημιουργεί ένα ψηφιακό δίδυμο του διαστήματος, συμπεριλαμβανομένων αντιγράφων ουράνιων σωμάτων και δορυφόρων.

— **SpaceX:** Ένα ψηφιακό δίδυμο της διαστημικής κάψουλας Dragon της SpaceX επιτρέπει στους χειριστές να παρακολουθούν και να προσαρμόζουν τροχιές, φορτία και συστήματα πρόωσης με στόχο τη μεγιστοποίηση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας κατά τη μεταφορά. (McKinsey, 2024)

Το γεγονός ότι ακόμα δεν βλέπουμε την ευρεία εφαρμογή σε εταιρία του κλάδου της αυτοκινητοβιομηχανίας δείχνει ότι για την ώρα το ενδιαφέρον, τόσο το επιστημονικό αλλά και το εμπορικό, δεν είναι στραμμένο προς αυτή την κατεύθυνση παρόλο που έχουν γίνει συζητήσεις και τα πρώτα βήματα σε συνέδρια παγκοσμίως. Επίσης να τονίσουμε ότι χρειάζονται και μεγάλοι πόροι και παρακολούθηση, για να βεβαιωθούμε ότι τα αποτελέσματα που θα εξάγονται μπορούν να αξιοποιηθούν καταλλήλως.

Στο τέλος, μπορούμε να πούμε ότι με τη σύγκλιση DT – AI – IoT – κυβερνοασφάλειας, αναδύεται ένα όραμα για "αυτογνωστικά" οχήματα: ευφυή, προσαρμοστικά, ασφαλή και βιώσιμα. Μπορεί να ωφελήσει πολύ τους κατασκευαστές αλλά και τους οδηγούς στην καθημερινότητά τους αλλά ωστόσο απαιτείται συντονισμένη προσπάθεια από τη βιομηχανία, την έρευνα και τους κανονιστικούς φορείς για την πλήρη αξιοποίησή τους.

4.2 Προτάσεις

Από την ανασκόπηση και τη μελέτη που διεξάχθηκε στα πλαίσια αυτή της εργασίας προτείνονται οι παρακάτω εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων αυτοκινήτων.

Βασικό είναι να εκμεταλλευτούμε την εξάπλωση και εξέλιξη των υποδομών δικτύωσης του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT). Στο μέλλον τα οχήματα οδεύουν να είναι συνδεδεμένα τόσο μεταξύ τους, δηλαδή με τη χρήση οχηματικών δικτύων (V2V) αλλά και με το διαδίκτυο (V2X) μέσω υποδομών πέμπτης γενιάς (5G) και πάνω. Το παραπάνω γεγονός είναι απαραίτητο για να μπορούμε να μιλάμε για ψηφιακά δίδυμα με άμεση τροφοδότηση δεδομένων από το όχημα. Επειδή είδαμε ότι η υπολογιστική δύναμη για να τρέξουν τα αλγοριθμικά μοντέλα είναι μεγάλη προτείνεται τα δεδομένα του οχήματος να αποστέλλονται σε servers της εταιρίας, για παράδειγμα στην SUBARU, ώστε να τρέχουν οι υπολογισμοί σε μεγαλύτερη κλίμακα. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση είναι η σύνδεση του οχήματος με το διαδίκτυο καθώς αν γινόταν η φόρτωση των δεδομένων κάθε φορά που το όχημα επισκέπτεται συνεργείο δεν θα μπορούσαμε να μιλάμε για «ζωντανή πληροφόρηση» και εκπαίδευση του ψηφιακού διδύμου.

Γεννάται επομένως το ερώτημα γιατί να γίνει η παραπάνω διαδικασία δικτύωσης των οχημάτων για τα Ψηφιακά Δίδυμα; Η διασύνδεση αυτή θα βελτιώσει τόσο την εμπειρία των οδηγών προς το καλύτερο, με την παράλληλη αύξηση της ασφάλειας κατά τη χρήση ενός οχήματος όπως το αυτοκίνητο, όπου βάσει μελετών και στατιστικών στοιχείων, ο μέσος άνθρωπος περνάει περίπου 6-10 χρόνια της ζωής του μέσα σε αυτοκίνητο (Eurostat, OECD, 2020). Για το λόγο αυτό, προτείνονται οι παρακάτω ενέργειες αναλυτικά που με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων επωφελούνται τόσο οι αυτοκινητοβιομηχανίες αλλά και οι τελικοί χρήστες των οχημάτων, είτε οι ιδιοκτήτες ή οι οδηγοί.

- Δυναμικές προειδοποιήσεις (Warnings)

Σε ένα ψηφιακό δίδυμο που θα τρέχει με δεδομένα από πραγματικές συνθήκες οι outliers που εντοπίζονται θα μπορούν να δίνουν ενδείξεις στον οδηγό σχετικά με την κατάσταση ενός εξαρτήματος ή αισθητήρα. Αυτή τη στιγμή συνήθίζεται η προειδοποιητική ένδειξη να εμφανίζεται στα αυτοκίνητα όταν πια είναι αργά και έχει γίνει μία ζημιά. Αν όμως τα δεδομένα ενός οχήματος τρέχουν παράλληλα και σε ένα ψηφιακό δίδυμο θα γίνεται να ειδοποιείται ο οδηγός νωρίτερα. Η ένδειξη θα εμφανίζεται όταν ένα ποσοστό των outliers περάσει το όριο που θα οριστεί, και θα παροτρύνει τον οδηγό για έλεγχο του συγκεκριμένου εξαρτήματος ή αισθητήρα. Με αυτό τον τρόπο, αξιοποιώντας το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να γλιτώσουμε από

πιθανή ταλαιπωρία τον οδηγό σε περίπτωση ζημιάς αλλά και από πιθανά αυξημένο κόστος καθώς ορισμένες φορές μη γνωρίζοντας μία φθορά μπορεί να προκληθεί μεγαλύτερη βλάβη.

- Βελτίωση παραγωγής

Το γεγονός ότι τα δεδομένα των οχημάτων, μέσω του IoT, θα συγκεντρώνονται στην εταιρία που κατασκευάζει το όχημα βοηθά την ίδια την εταιρία. Για παράδειγμα τα ψηφιακά δίδυμα θα τρέχουν σε servers της εταιρίας. Έτσι οι κατασκευαστές θα έχουν άμεση πληροφόρηση για το πια εξαρτήματα ενός κινητήρα παρουσιάζουν προβλήματα πιο συχνά και με αυτό τον τρόπο να στραφούν στην εξέλιξη και βελτίωση της επόμενης γενιάς ενός κινητήρα.

- Εξοικονόμηση κόστους παραγωγής

Μία εταιρία που κατασκευάζει κινητήρες, έχοντας εικόνα από τα ψηφιακά δίδυμα ενός κινητήρα για τη ζωή ενός εξαρτήματος μπορεί ακόμα και να εξετάσει την ύπαρξη περιθωρίου για τη μείωση της αξιοπιστίας. Για παράδειγμα εφόσον έχει ένα ανταλλακτικό κινητήρα που θέλει να μειώσει το κόστος παραγωγής του, θα μπορούσε να εξετάσει αν θα αντέξει το ανταλλακτικό, τροφοδοτώντας αντίστοιχα το ψηφιακό δίδυμο με άλλες τιμές και να συγκρίνει τα αποτελέσματα πριν προχωρήσει στην παραγωγή αυτού.

Βιβλιογραφία

- University of Ljubljana. (2025). ORANGE data mining. <https://orangedatamining.com>.
- Autotriti, T. (2024). Εσύ ήξερες ότι οι flat και οι boxer κινητήρες δεν είναι (πάντα) το ίδιο;. <https://www.autotriti.gr/news/photo/index.asp?newsid=267986>
- Beck-Burridge, M. W. (2001). Fuji Heavy Industries and Subaru in the 1980s.
- Concetta Semeraro, M. L. (2021). Digital twin paradigm: A systematic literature review .
- Damjanovic-Behrendt, V. (2018). A Digital Twin-based Privacy Enhancement Mechanism for the Automotive Industry.
- E.Mohanraj, E. N. (2024). Digital Twins for Automotive Predictive Maintenance.
- Eduardo Tomanik, A. J.-R. (2023). Machine-Learning-Based Digital Twins for Transient Vehicle Cycles and Their Potential for Predicting Fuel Consumption.
- Eric VanDerHorn, S. M. (2021). Digital Twin: Generalization, characterization and implementation.
- François, M. V. (2005). The Curse of Dimensionality in Data Mining and Time Series Prediction.
- J. Trauer, S. S.-R. (2020). WHAT IS A DIGITAL TWIN? – DEFINITIONS AND INSIGHTS FROM AN INDUSTRIAL CASE STUDY IN TECHNICAL PRODUCT DEVELOPMENT .
- Kantaros, D. P. (2022). Digital Twins in the Automotive Industry: The Road toward Physical-Digital Convergence.
- Kendrik Yan Hong Lim, P. Z.-H. (2019). A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives.
- Lewis, W. I. (2022). Where Are Subarus Made? Who Makes Subaru Cars and SUVs? *MOTORTREND*, <https://www.motortrend.com/features/where-are-subarus-made>.
- Markovich, T. (2019). What Is a Boxer Engine? *The Drive*, <https://www.thedrive.com/cars-101/37710/boxer-engine>.
- McKinsey, A. f. (2024). What is digital-twin technology?
- Medashe Michael Oluwaseyi, A. M. (2020). Specifications and Analysis of Digitized Diagnostics of Automobiles: A Case Study of on Board Diagnostic (OBD II). *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, <https://www.obd-2.de/>.
- Rossmann, M. S. (2016). From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems. *IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*.

Sadeq Almeaibed, S. A.-R. (2021). Digital Twin Analysis to Promote Safety and Security in Autonomous Vehicles.

Shutong Denga, L. L. (2023). A systematic review on the current research of digital twin in automotive application.

Παράρτημα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα 16 παρακάτω χαρακτηριστικά του δείγματος, είναι αυτά που τροφοδότησαν τον αλγόριθμο DBSCAN που χρησιμοποιήθηκε. Για την καλύτερη κατανόηση των συσχετίσεων και την απεικόνιση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ αισθητήρων ακολουθεί μία λίστα διαγραμμάτων τύπου Scatter με τα 120 μοναδικά ζευγάρια χαρακτηριστικών του παραπάνω δείγματος. Η ονοματοδοσία των διαγραμμάτων ακολουθεί το πρότυπο «**χαρακτηριστικό(Άξονας Χ)_χαρακτηριστικό (Άξονας Υ)**».

"Mani. Absolute Pressure",

"Engine Speed",

"Ignition Timing",

"Intake Air Temp.",

"Rear O2 Sensor",

"Accel. Opening Angle",

"CPC Valve Duty Ratio",

"TGV Position Sensor R",

"TGV Position Sensor L",

"VVT Adv. Ang. Amount R",

"VVT Adv. Ang. Amount L",

"OCV Duty R",

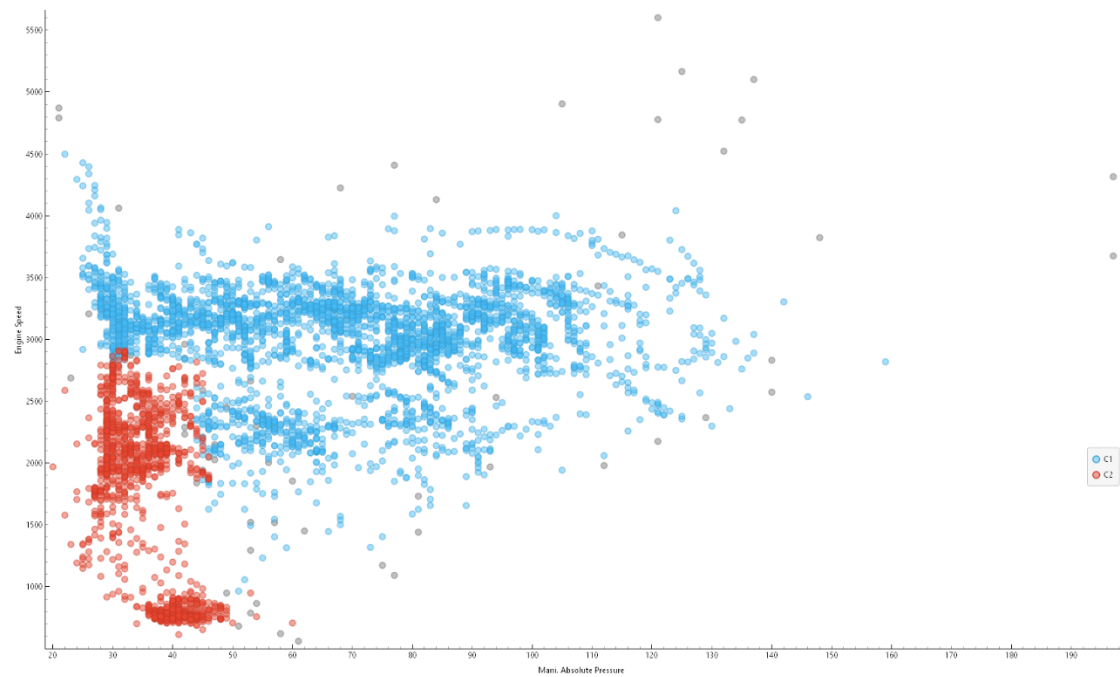
"OCV Duty L",

"A/F Correction #3",

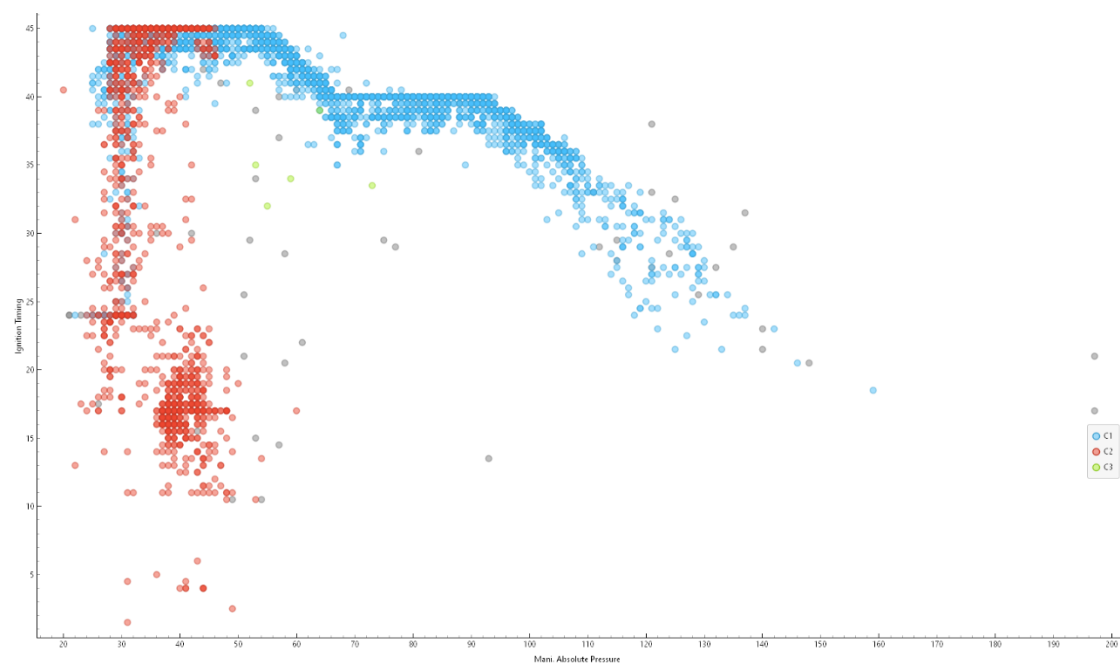
"Main-Accelerator Sensor",

"Exhaust Gas Temperature"

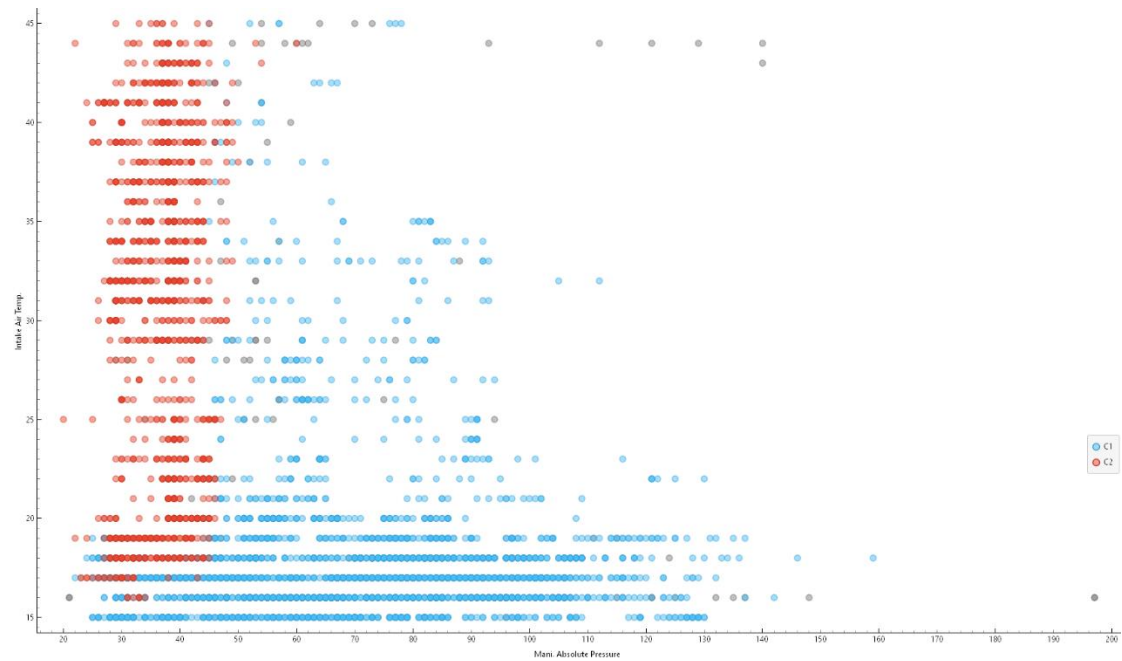
1 Mani. Absolute Pressure_Engine Speed



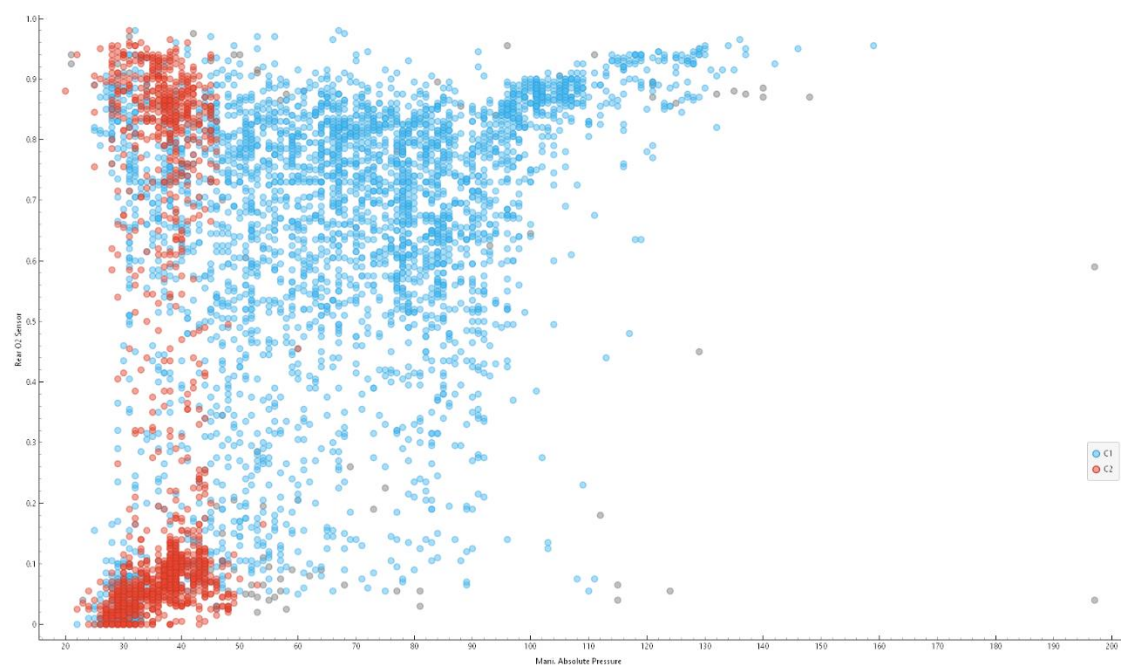
2 Mani. Absolute Pressure_Ignition Timing



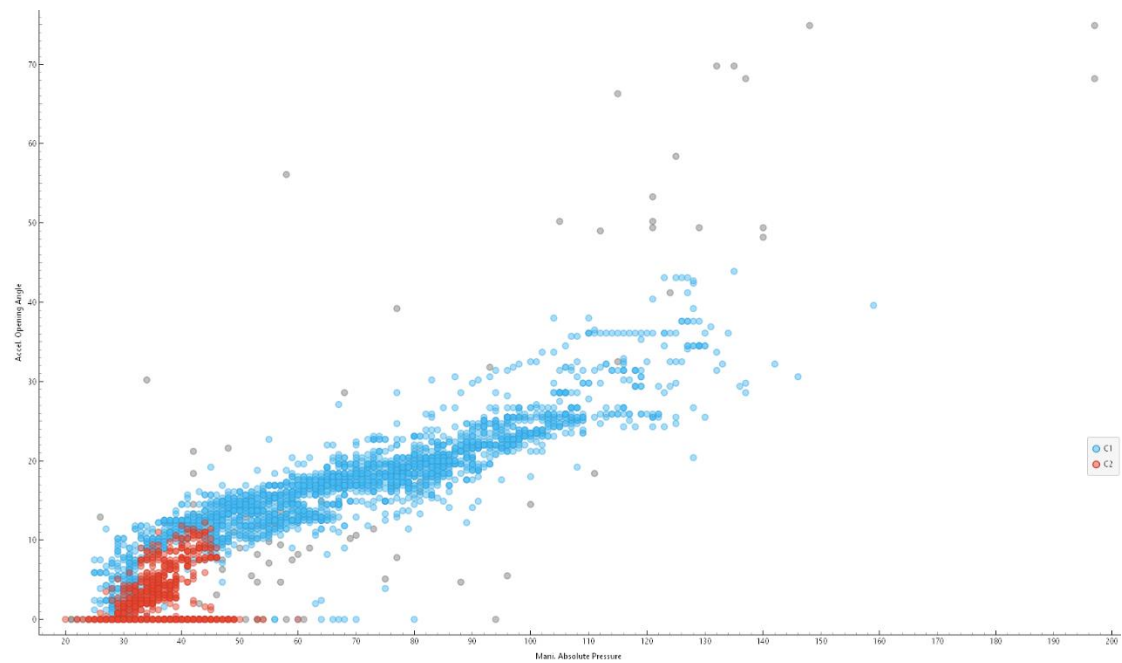
3 Mani. Absolute Pressure_Intake Air Temp.



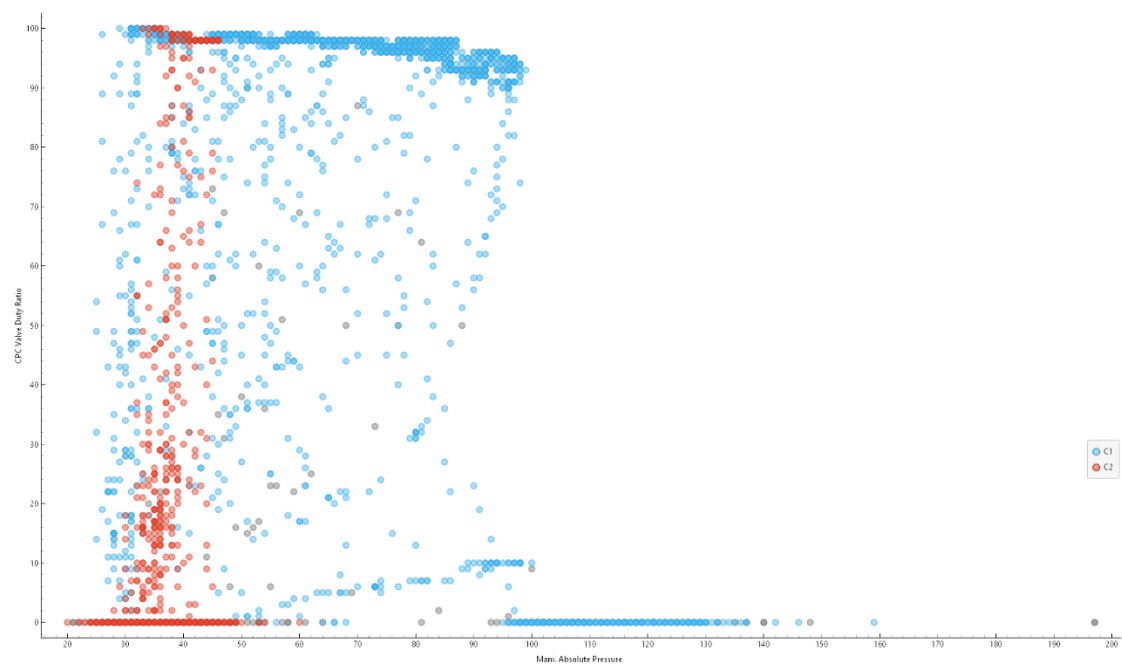
4 Mani. Absolute Pressure_Rear O2 Sensor



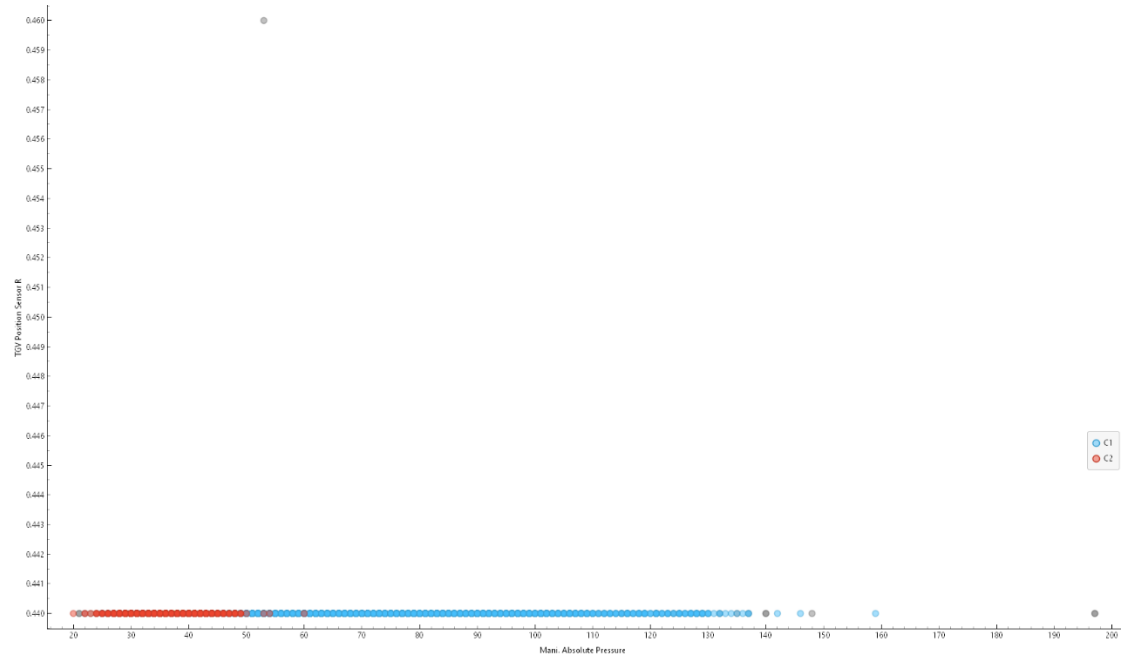
5 Mani. Absolute Pressure_Accel. Opening Angle



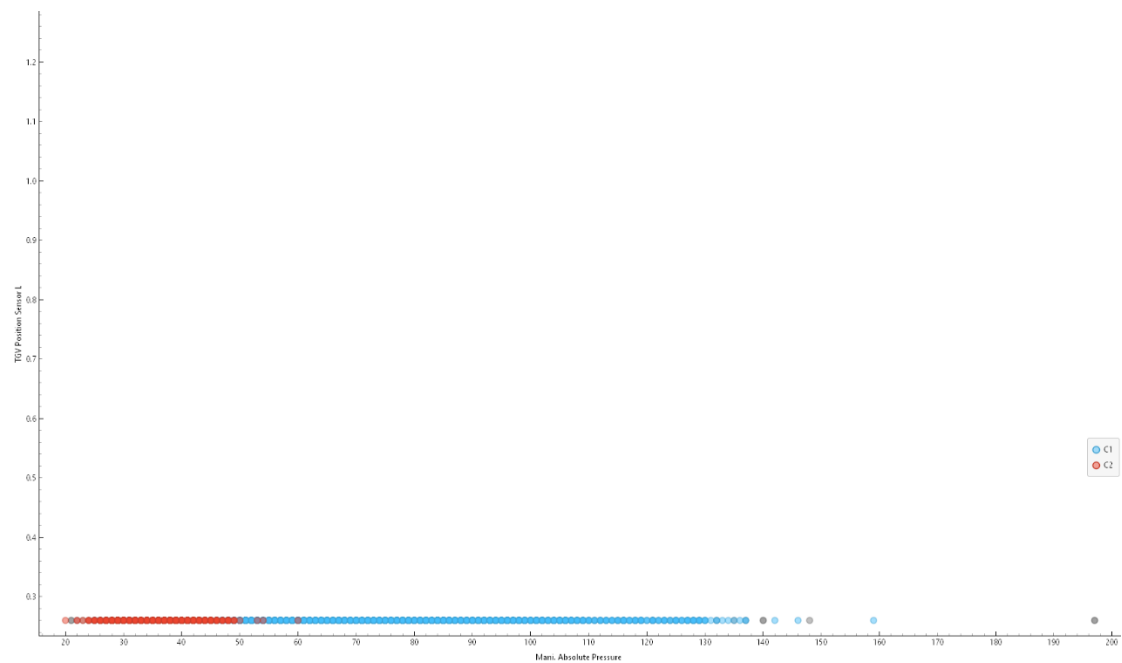
6 Mani. Absolute Pressure_CPC Valve Duty Ratio



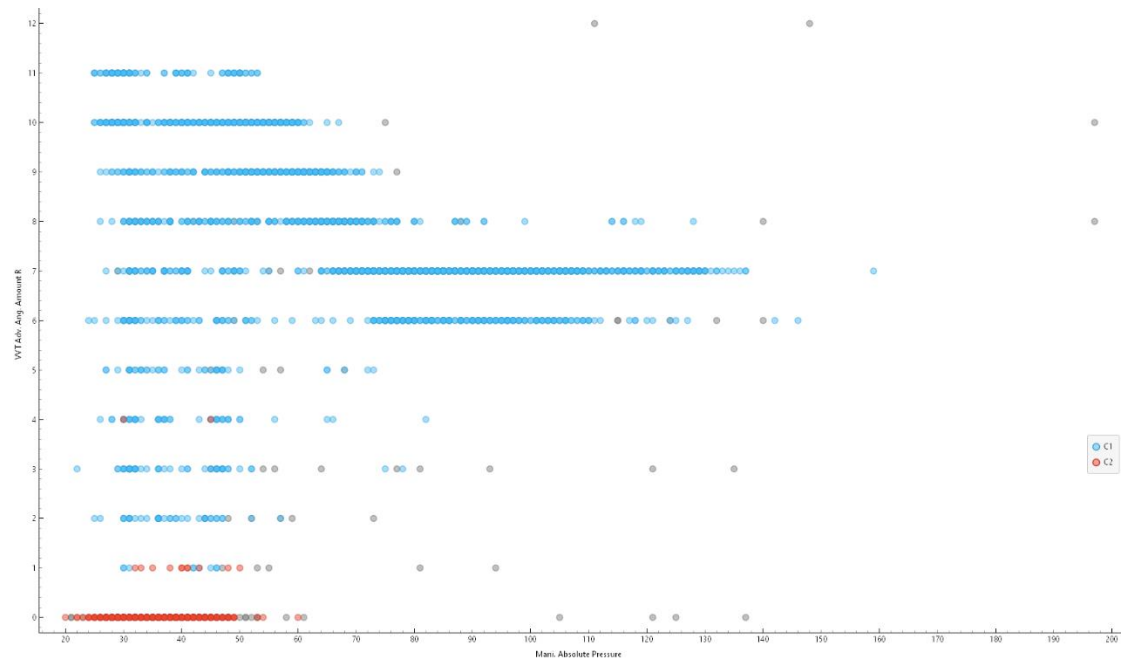
7 Mani. Absolute Pressure_TGV Position Sensor R



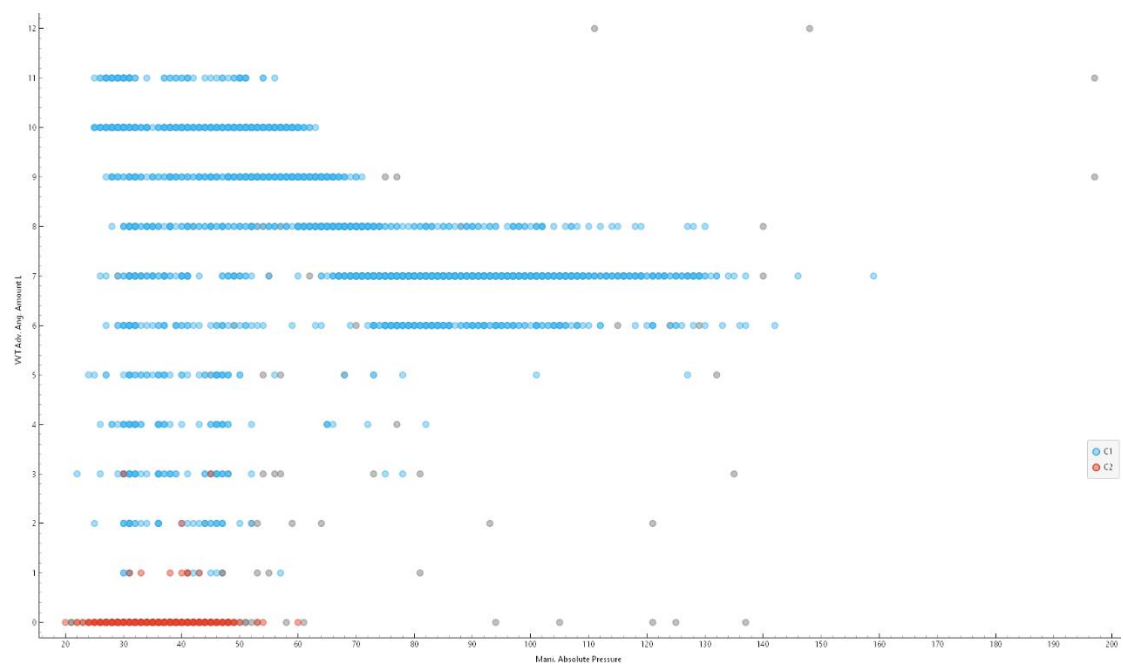
8 Mani. Absolute Pressure_TGV Position Sensor L



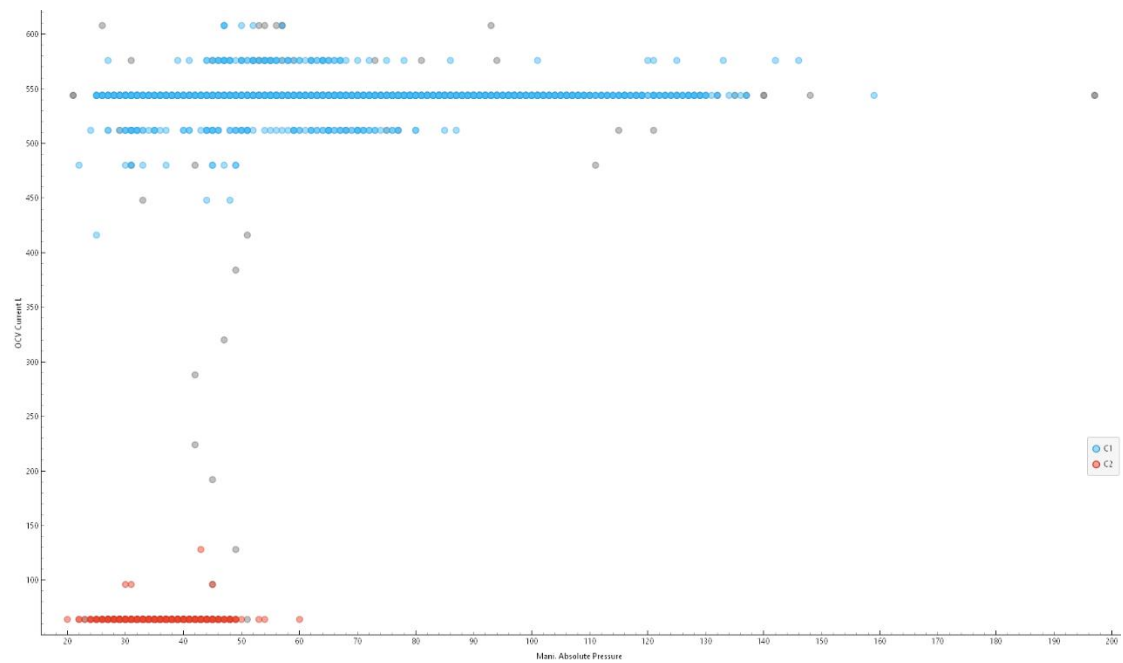
9 Mani. Absolute Pressure_VVT Adv. Ang. Amount R



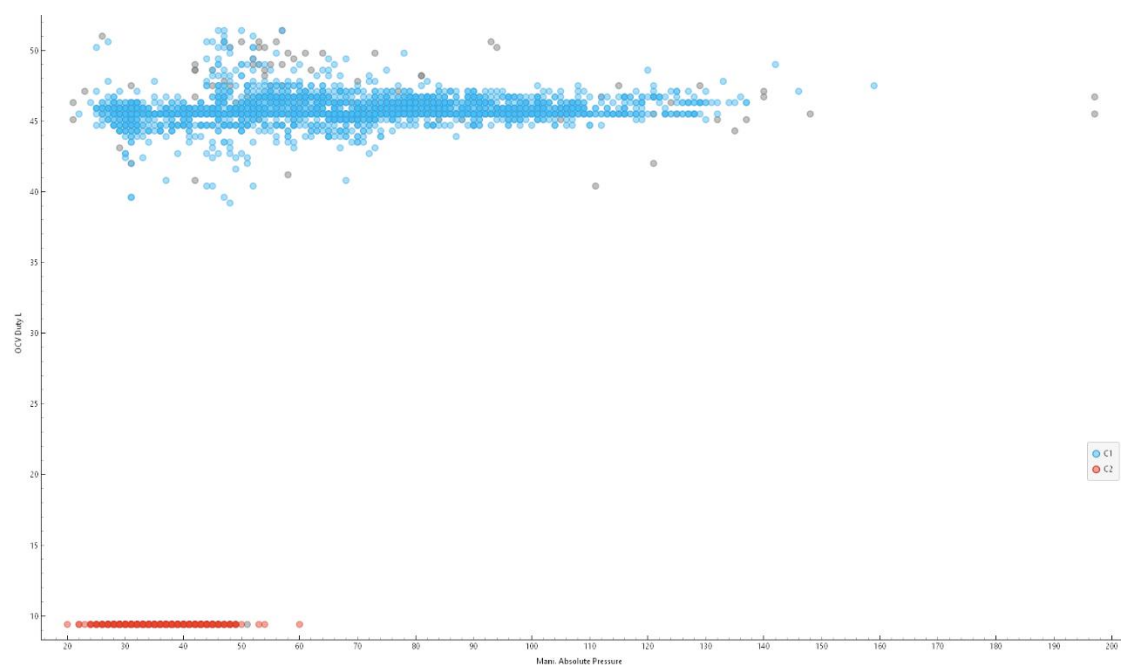
10 Mani. Absolute Pressure_VVT Adv. Ang. Amount L



11 Mani. Absolute Pressure_OCV Current L



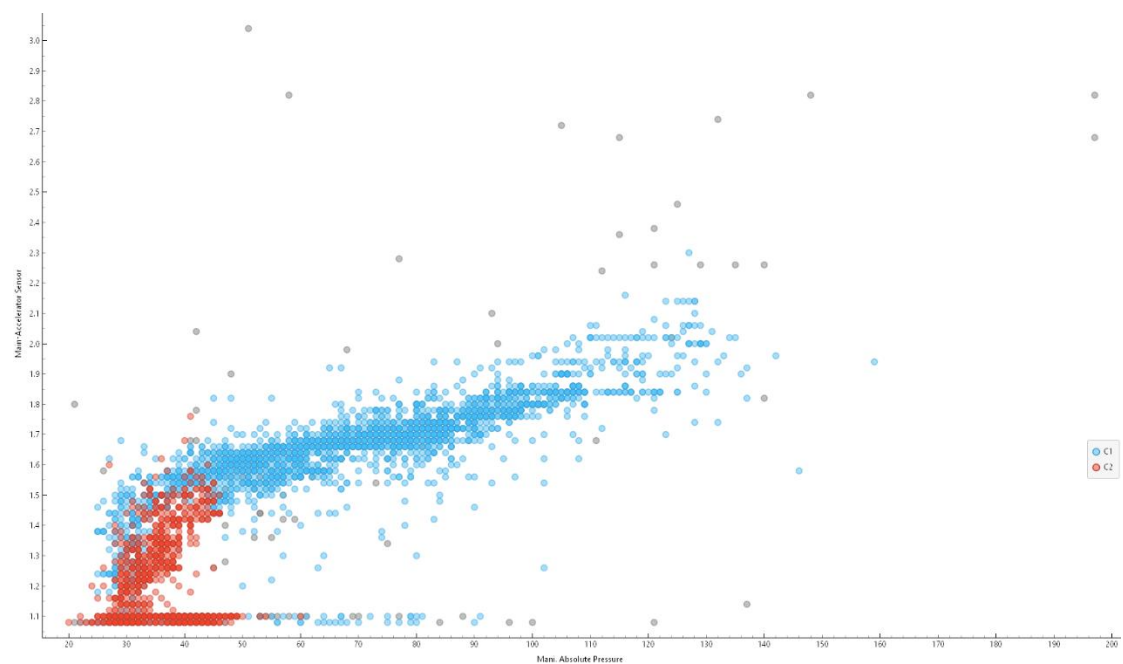
12 Mani. Absolute Pressure_OCV Duty L



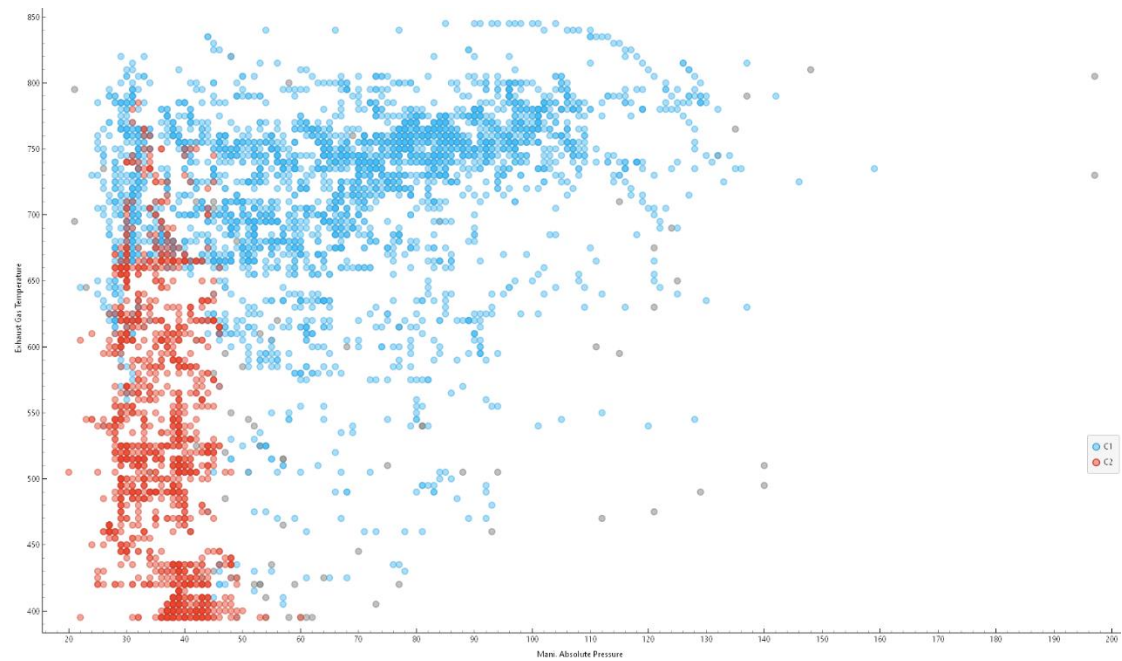
13 Mani. Absolute Pressure_A/F Correction #3



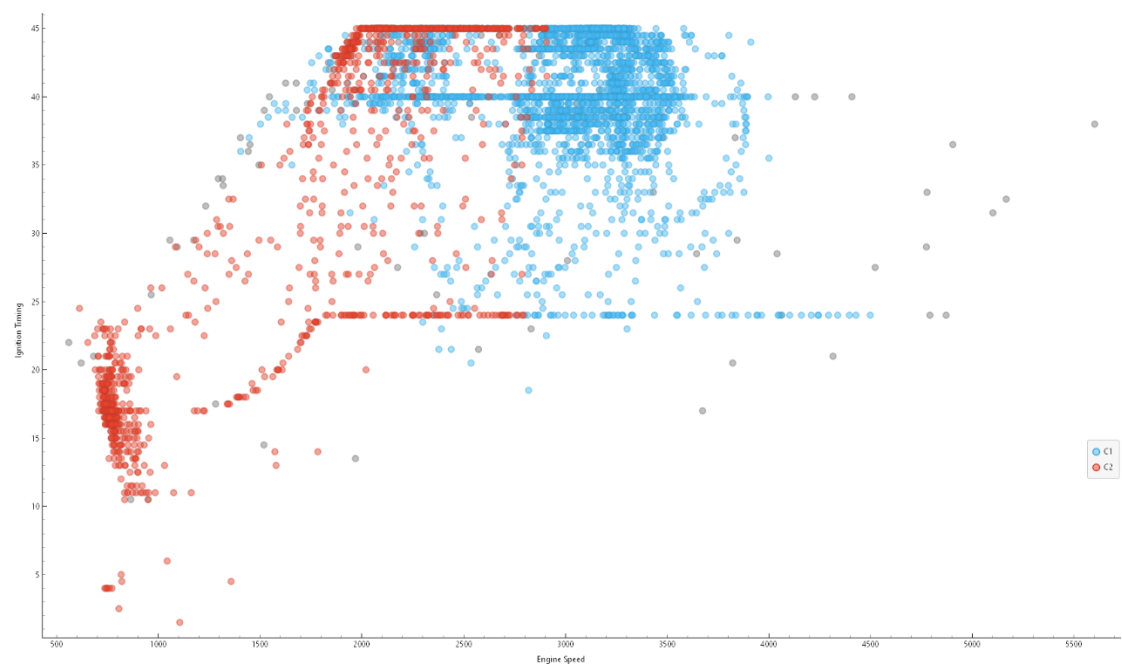
14 Mani. Absolute Pressure_Main-Accelerator Sensor



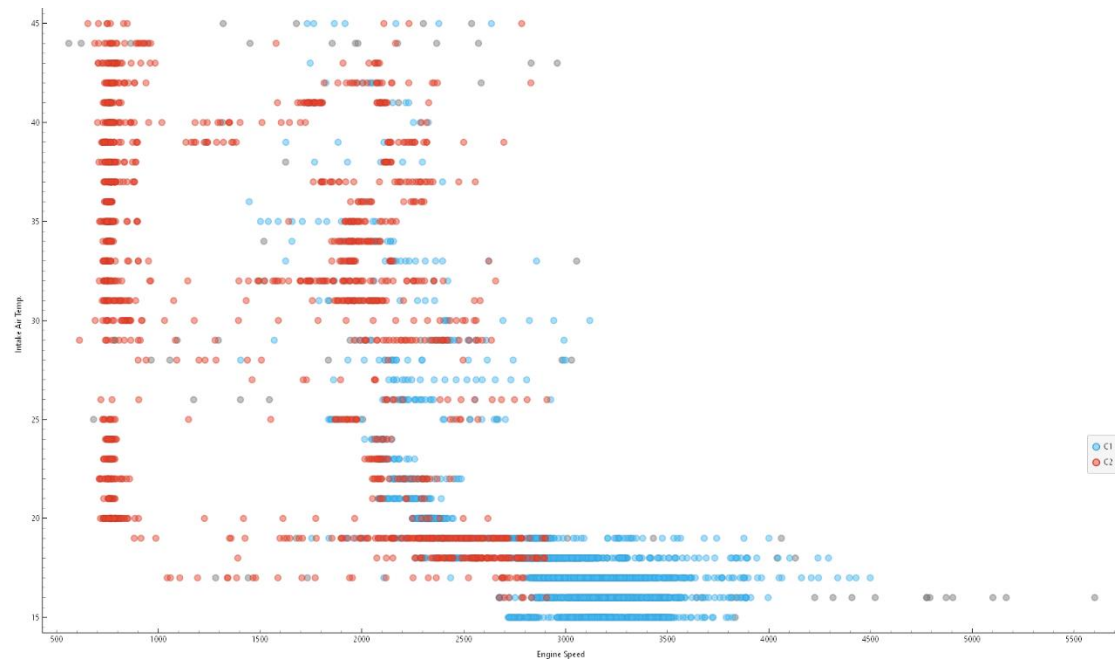
15 Mani. Absolute Pressure_Exhaust Gas Temperature



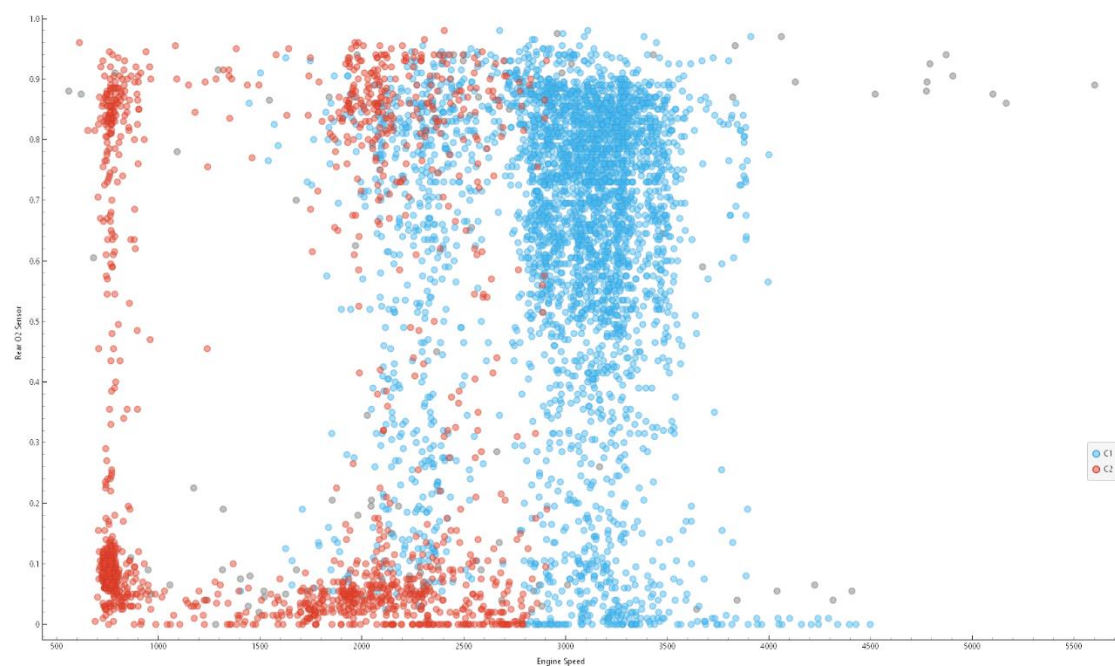
16 Engine Speed_Ignition Timing



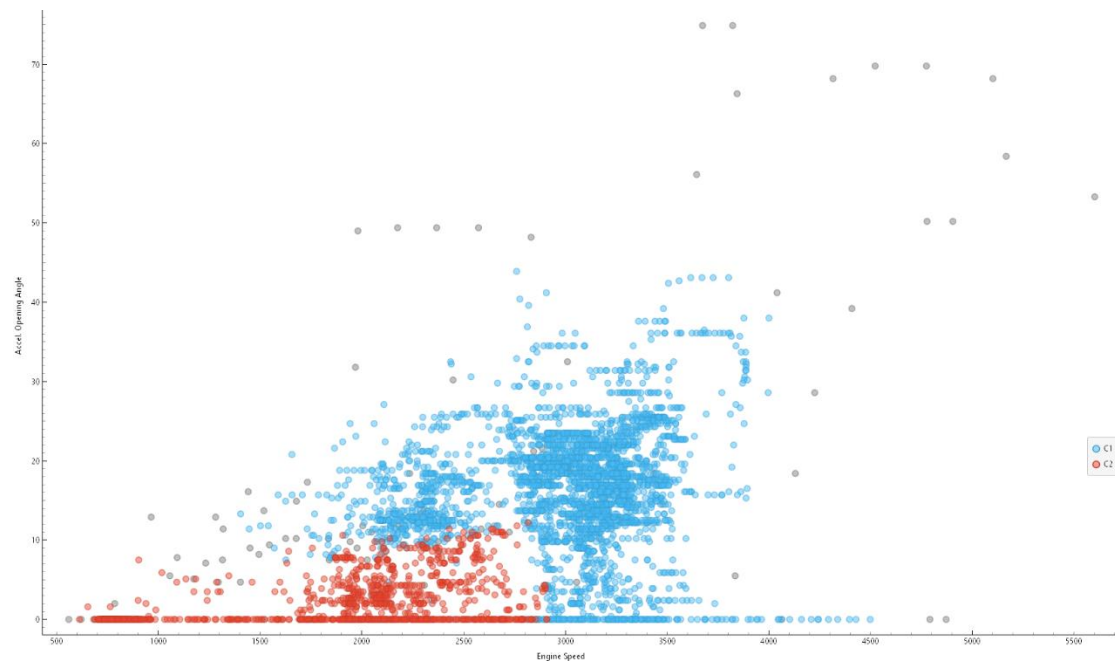
17 Engine Speed_Intake Air Temp.



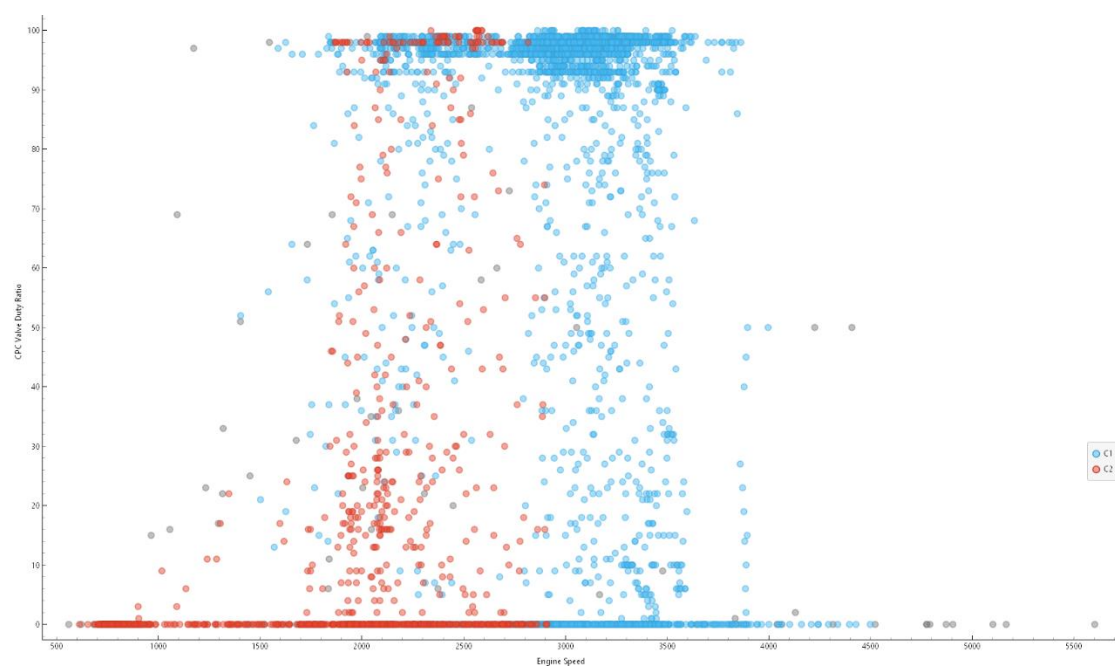
18 Engine Speed_Rear O2 Sensor



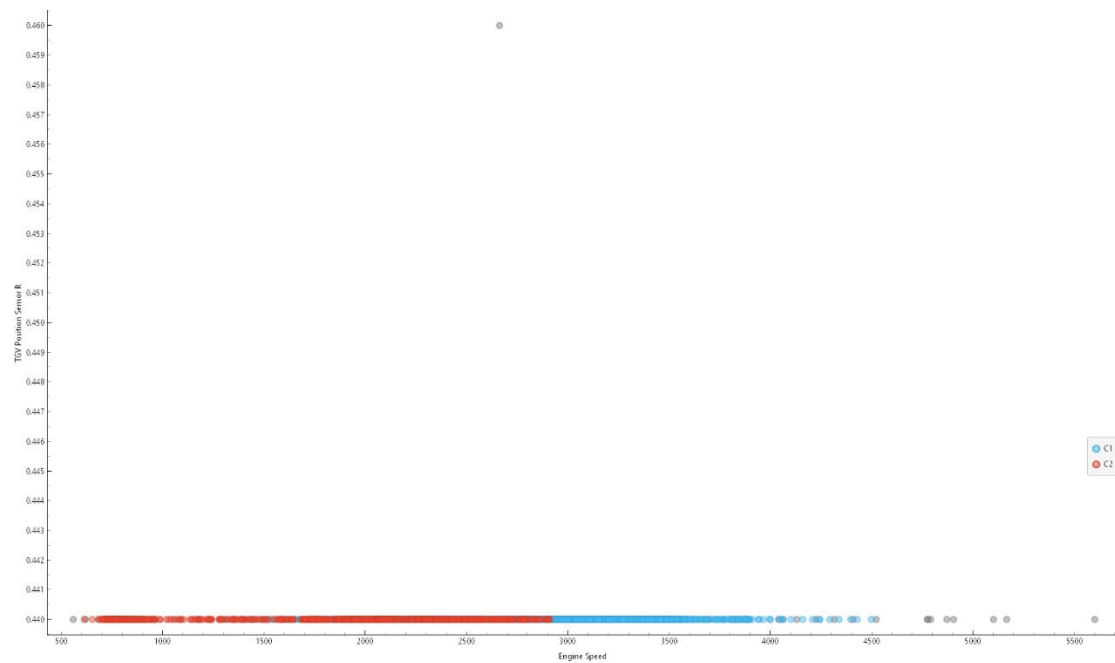
19 Engine Speed_Accel. Opening Angle



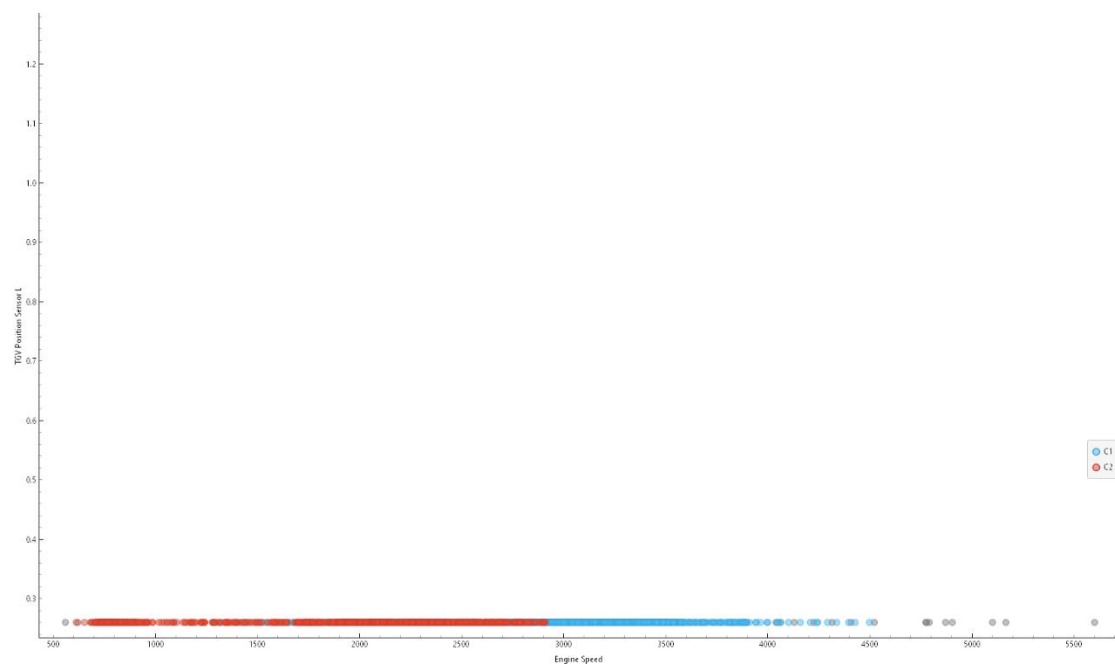
20 Engine Speed_CPC Valve Duty Ratio



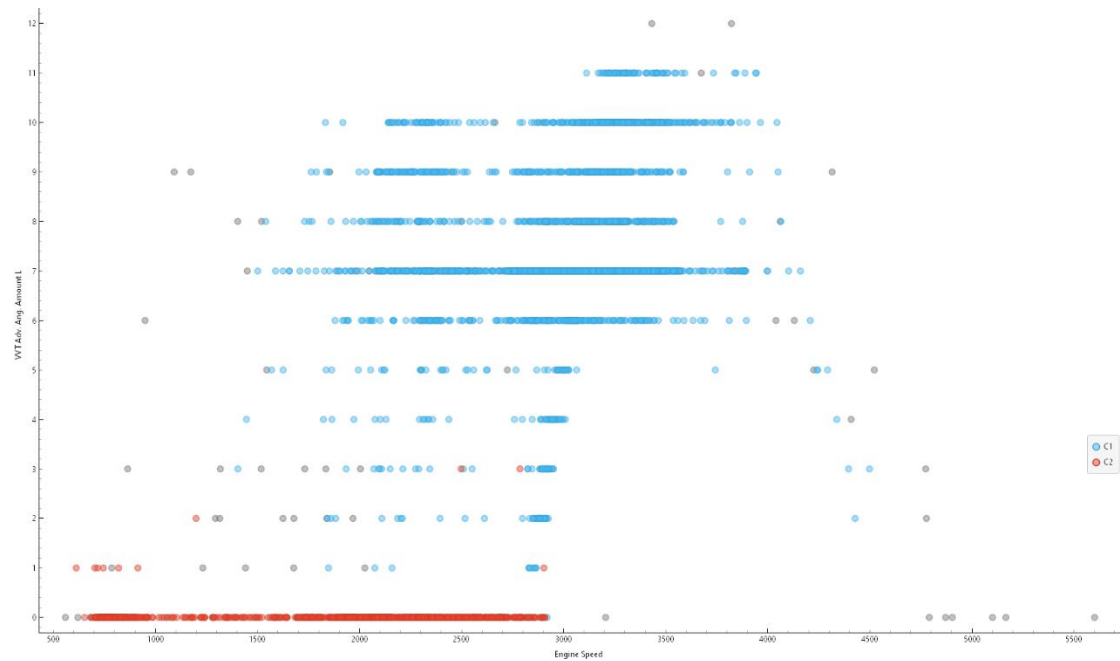
21 Engine Speed_TGV Position Sensor R



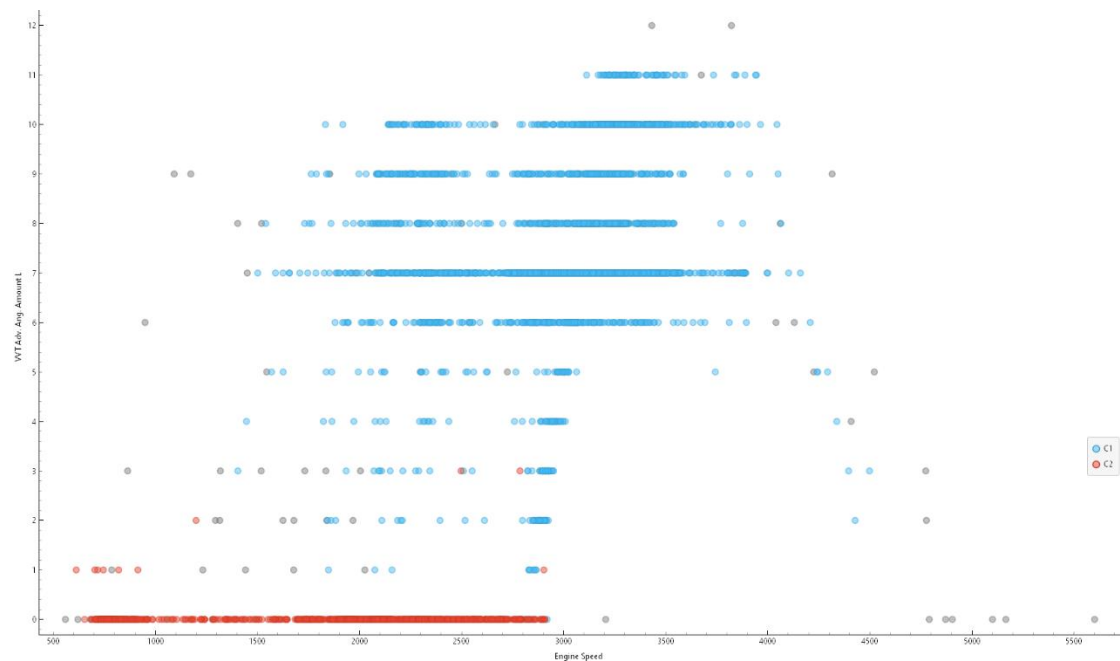
22 Engine Speed_TGV Position Sensor L



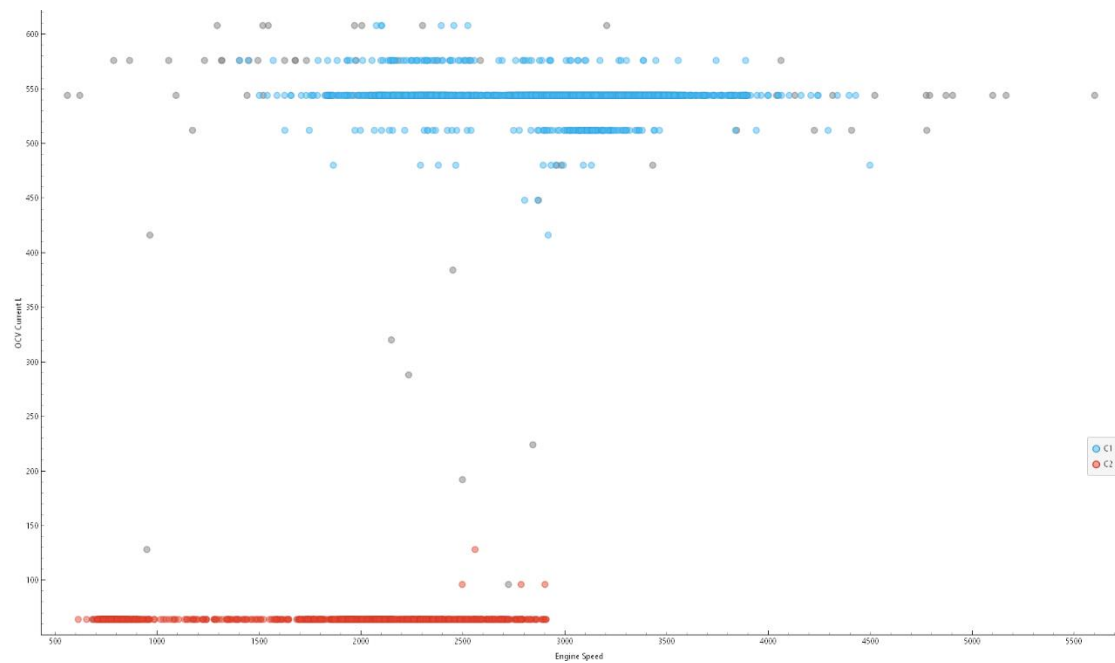
23 Engine Speed_VVT Adv. Ang. Amount R



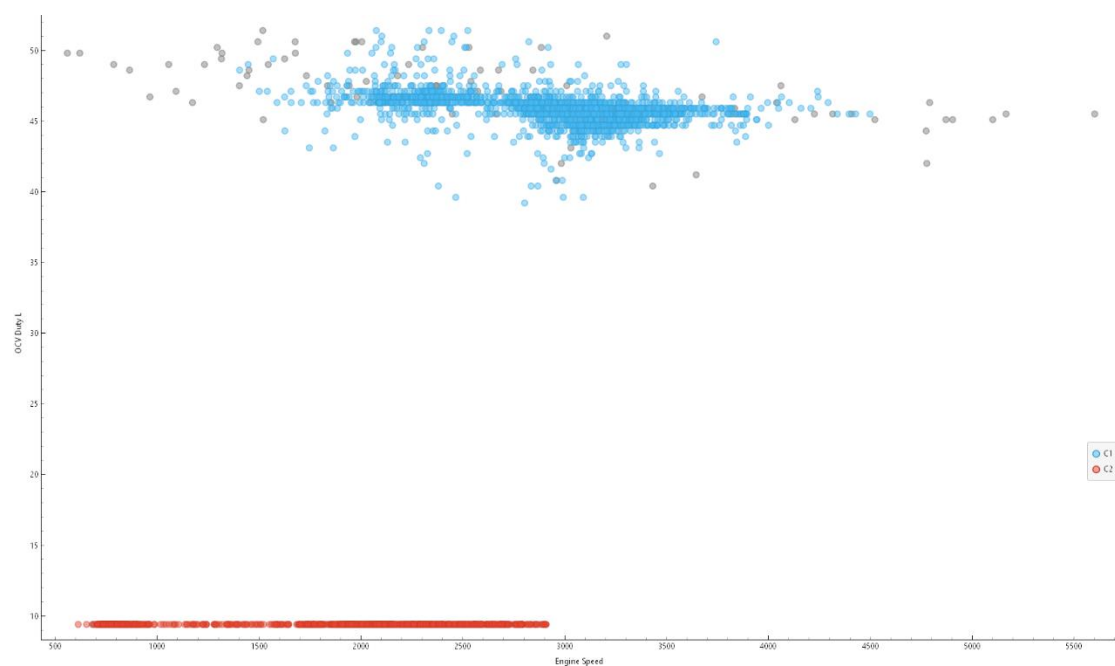
24 Engine Speed_VVT Adv. Ang. Amount L



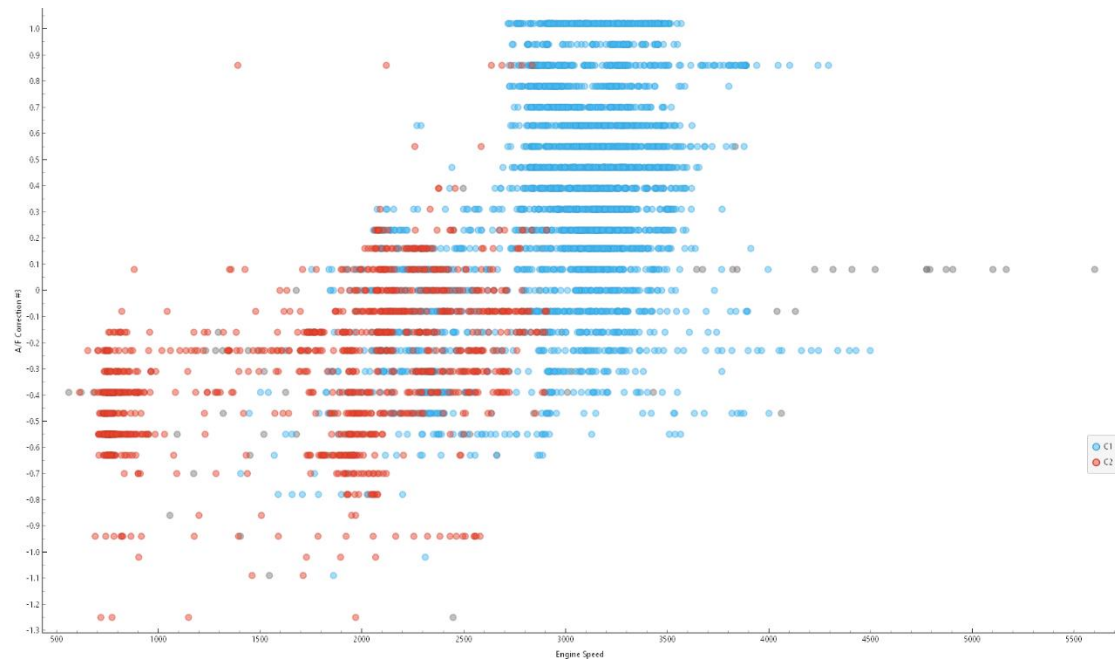
25 Engine Speed_OCV Current L



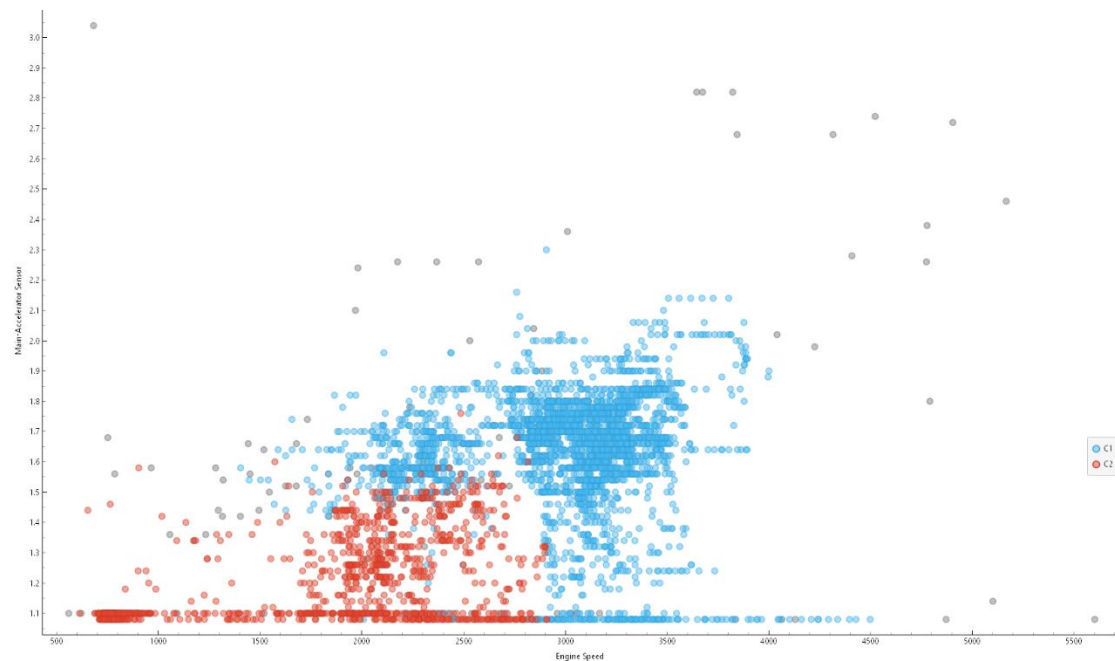
26 Engine Speed_OCV Duty L



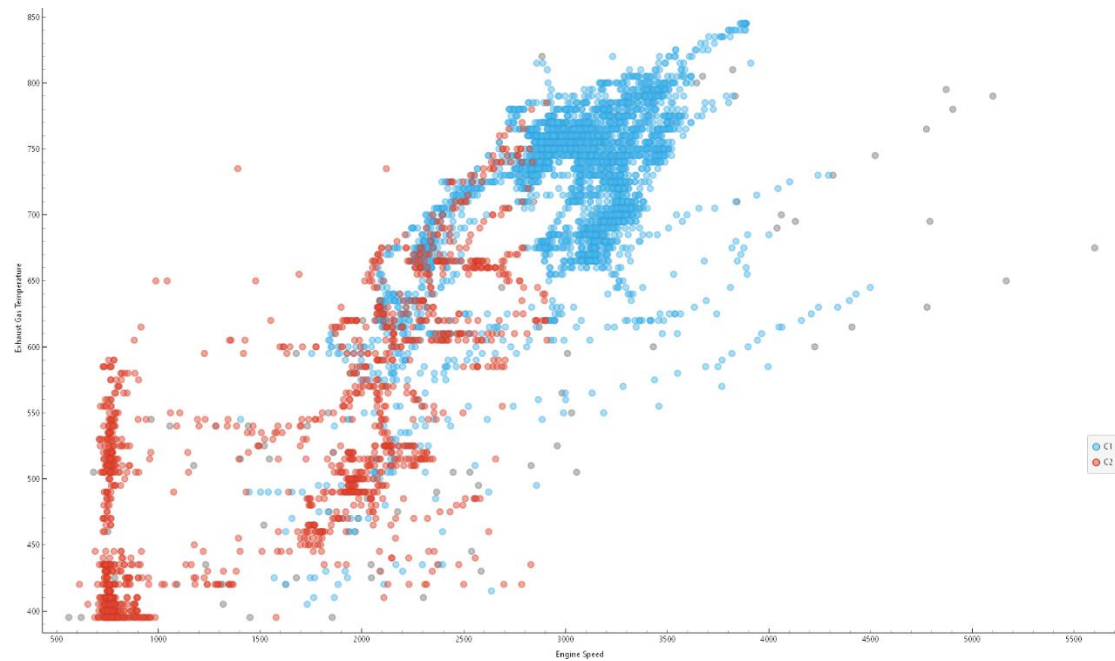
27 Engine Speed_A/F Correction #3



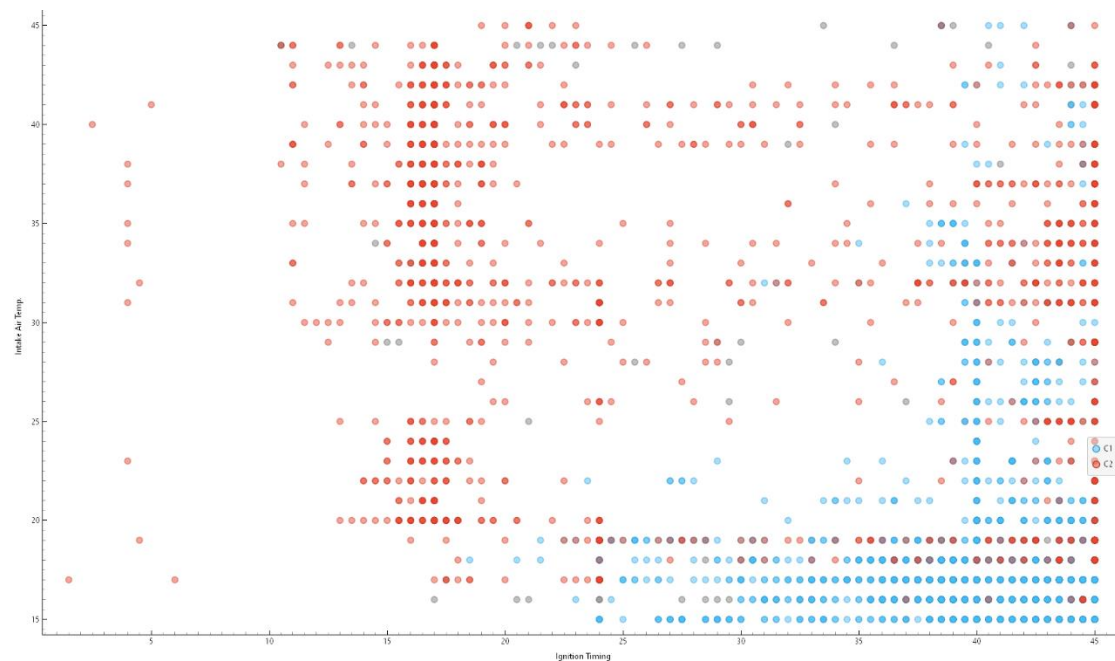
28 Engine Speed_Main-Accelerator Sensor



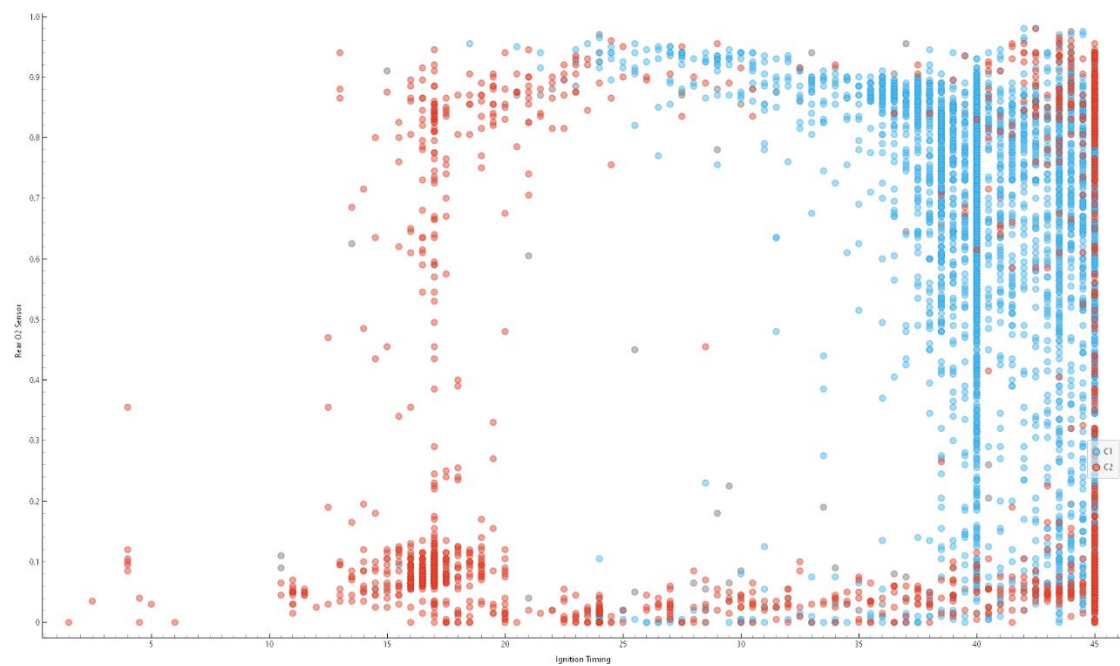
29 Engine Speed_Exhaust Gas Temperature



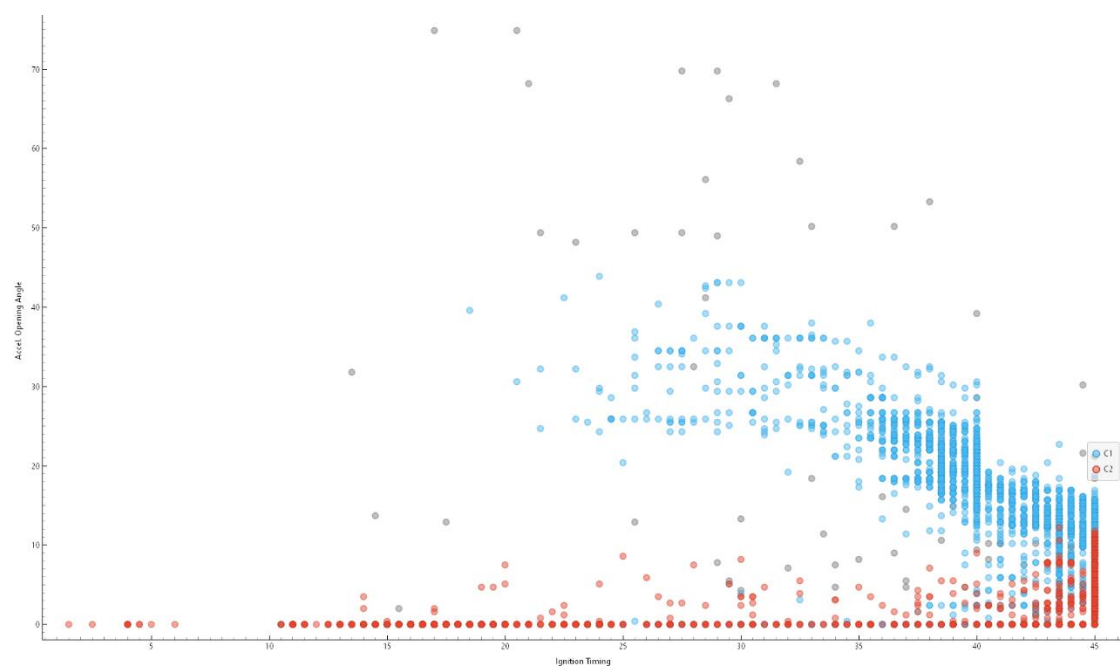
30 Ignition Timing_Intake Air Temp.



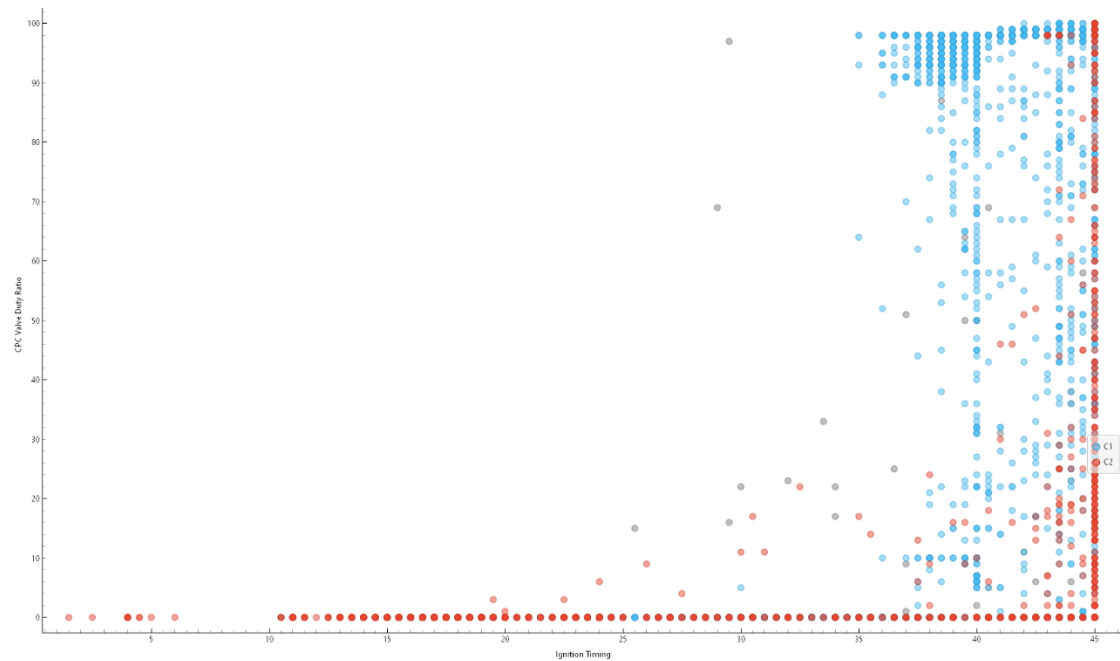
31 Ignition Timing_Rear O2 Sensor



32 Ignition Timing_Accel. Opening Angle



33 Ignition Timing_CPC Valve Duty Ratio



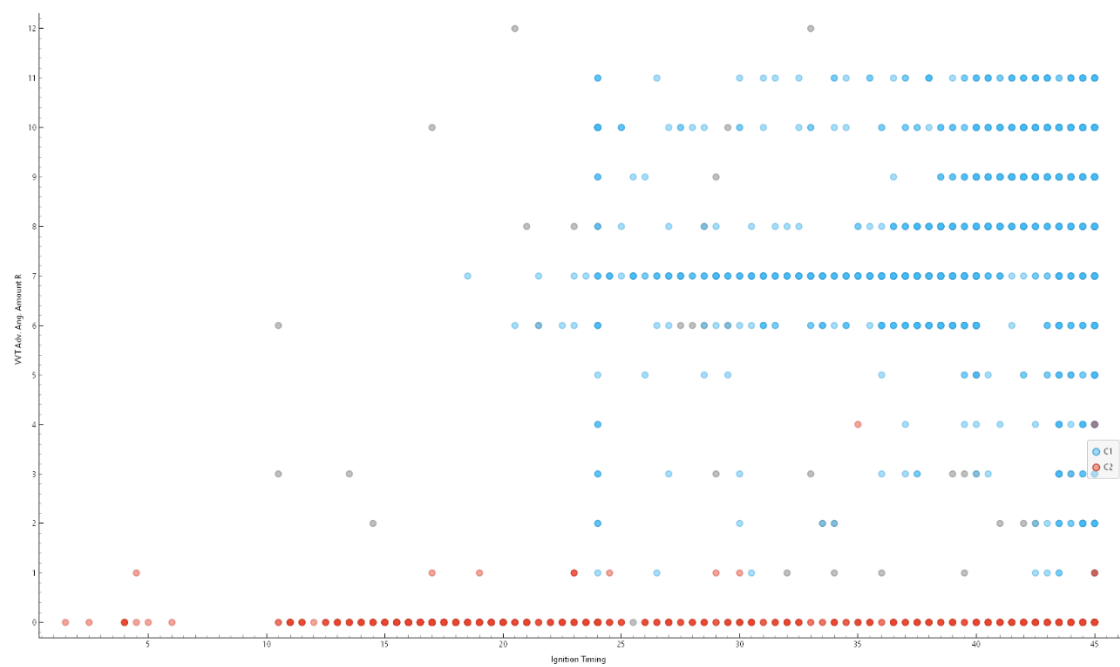
34 Ignition Timing_TGV Position Sensor R



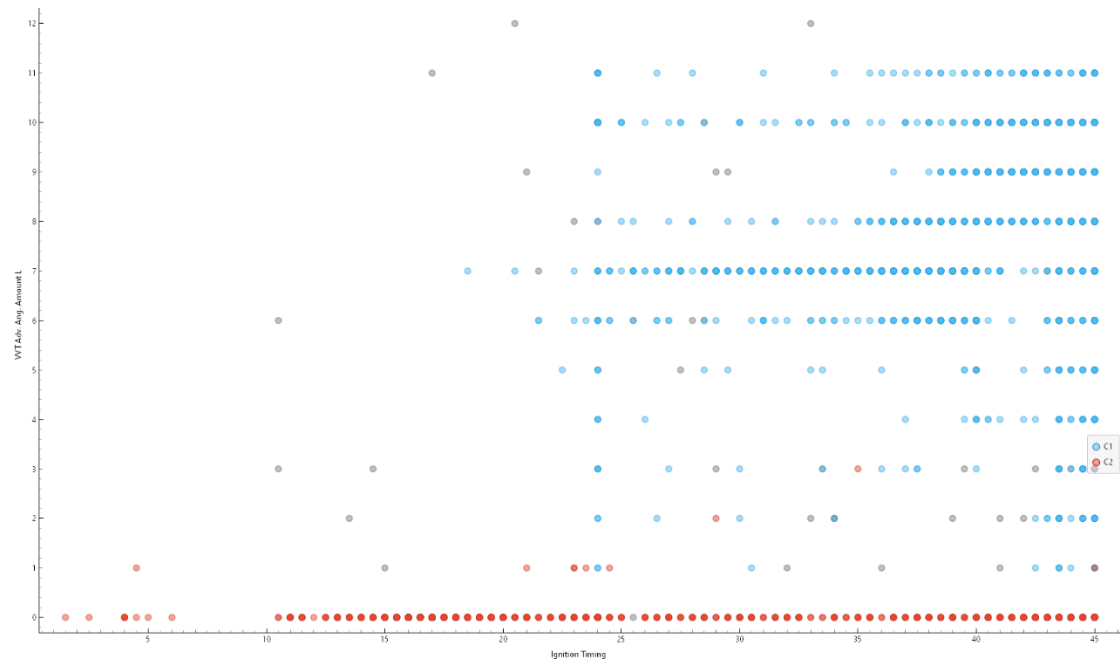
35 Ignition Timing_TGV Position Sensor L



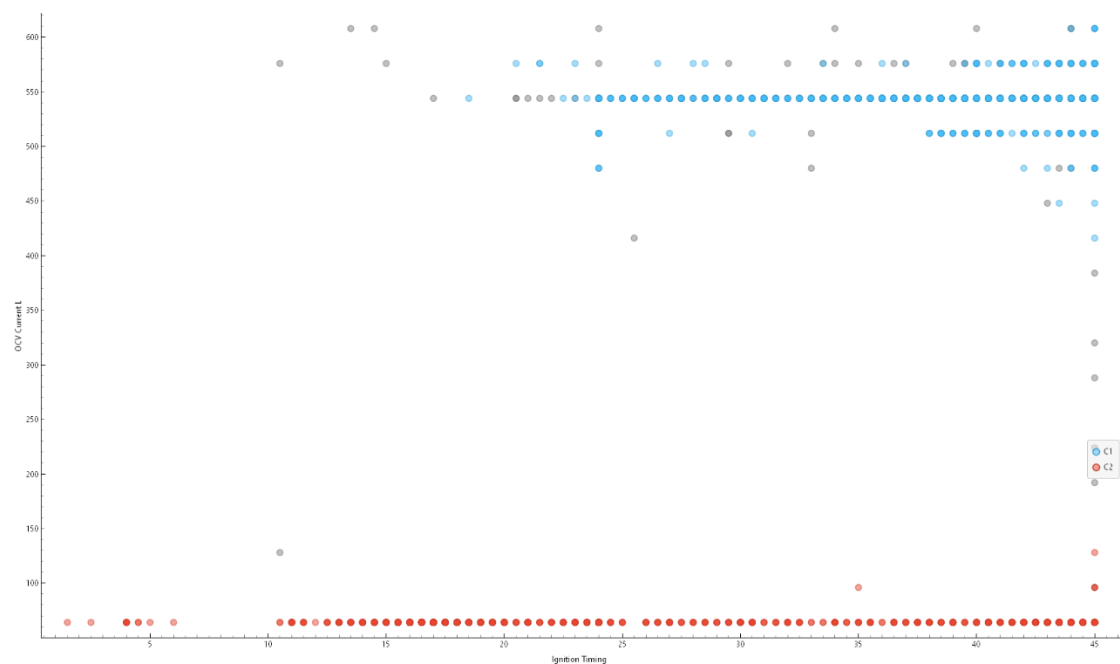
36 Ignition Timing_VVT Adv. Ang. Amount R



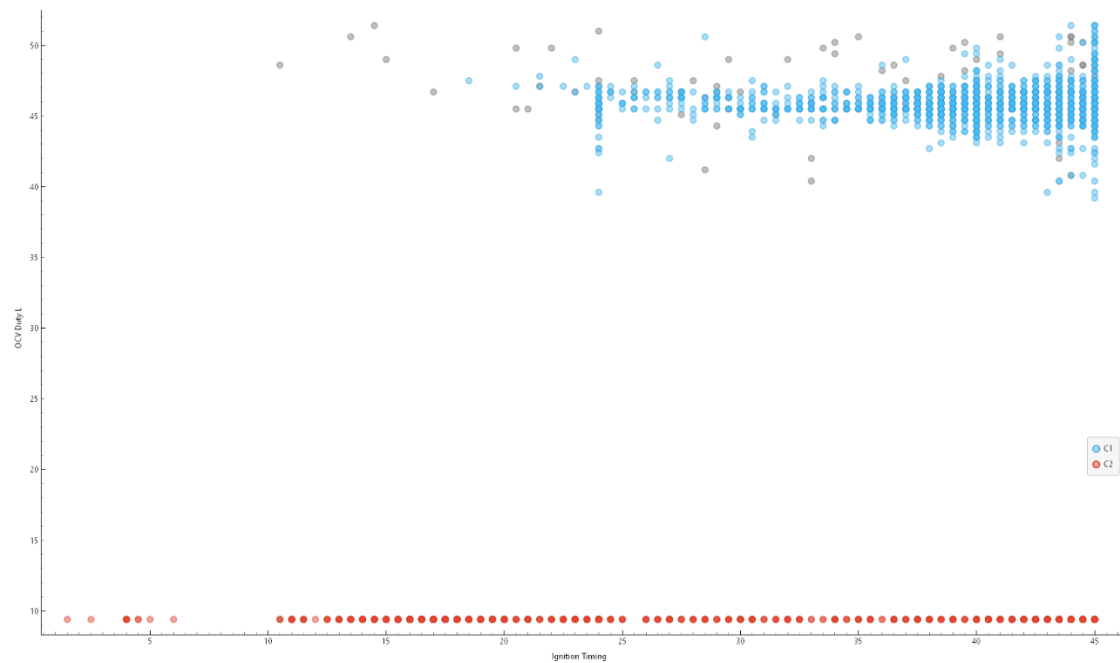
37 Ignition Timing_VVT Adv. Ang. Amount L



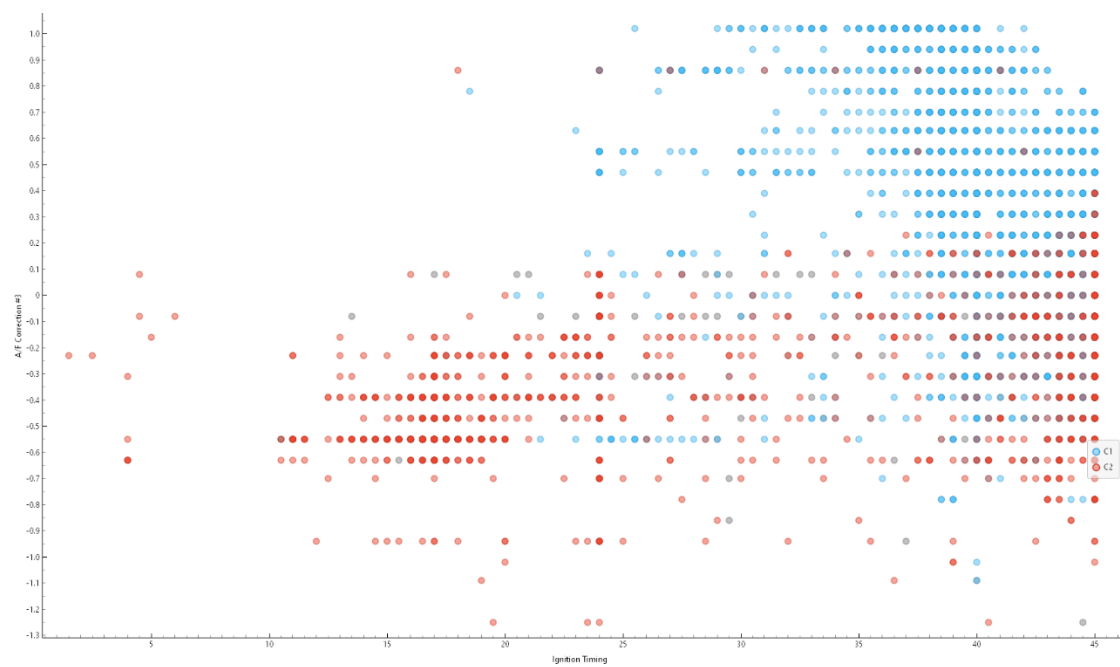
38 Ignition Timing_OCV Current L



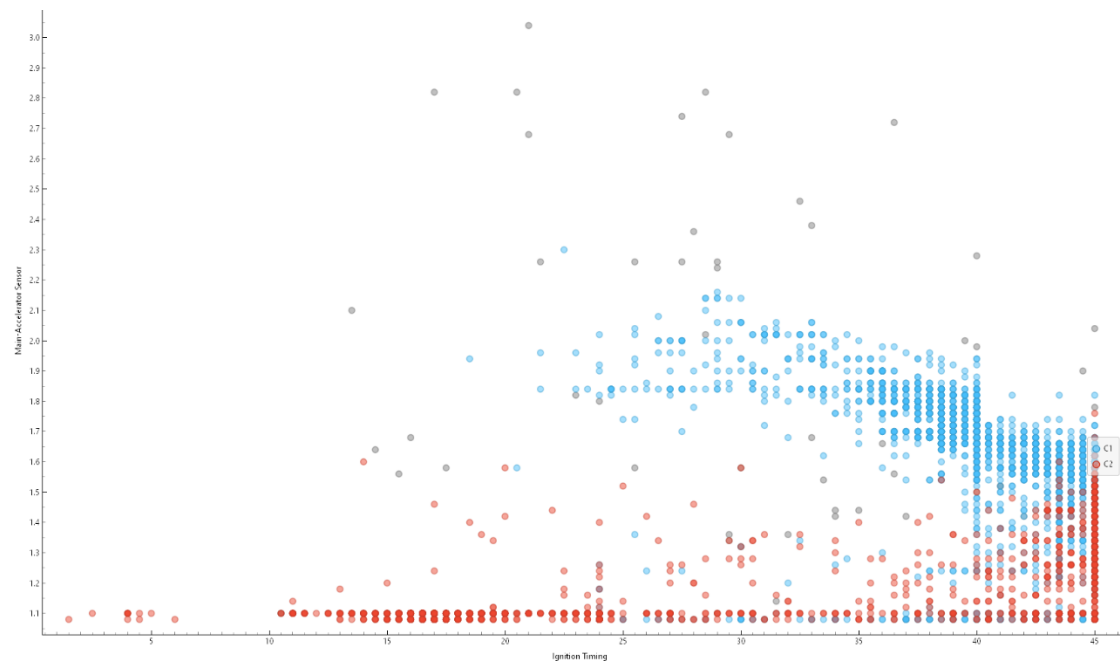
39 Ignition Timing_OCV Duty L



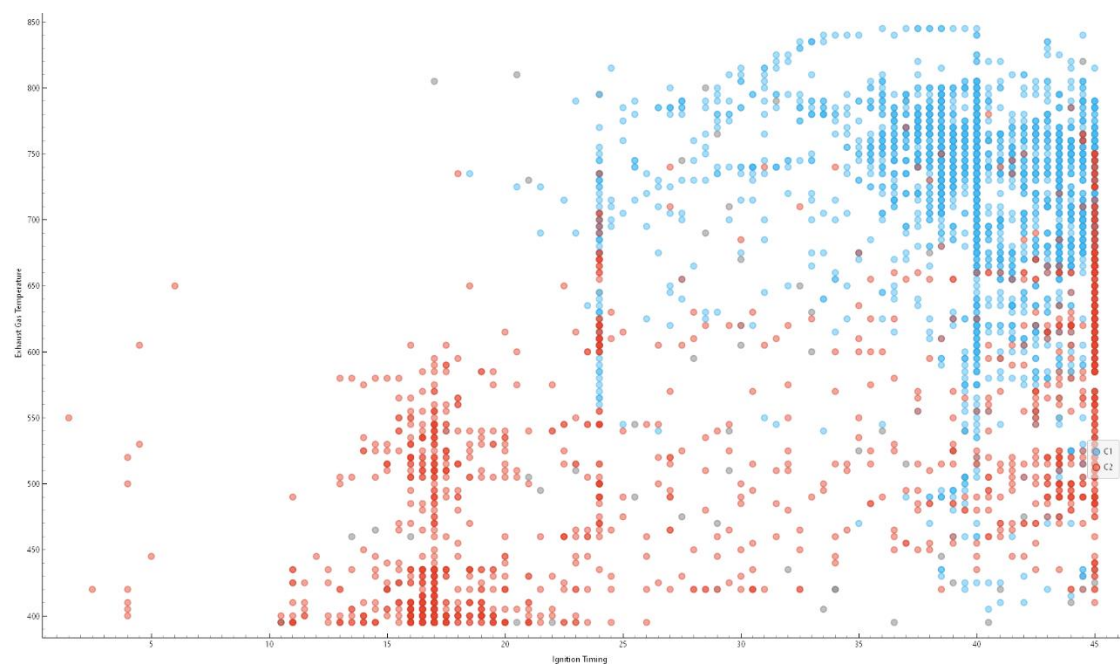
40 Ignition Timing_A/F Correction #3



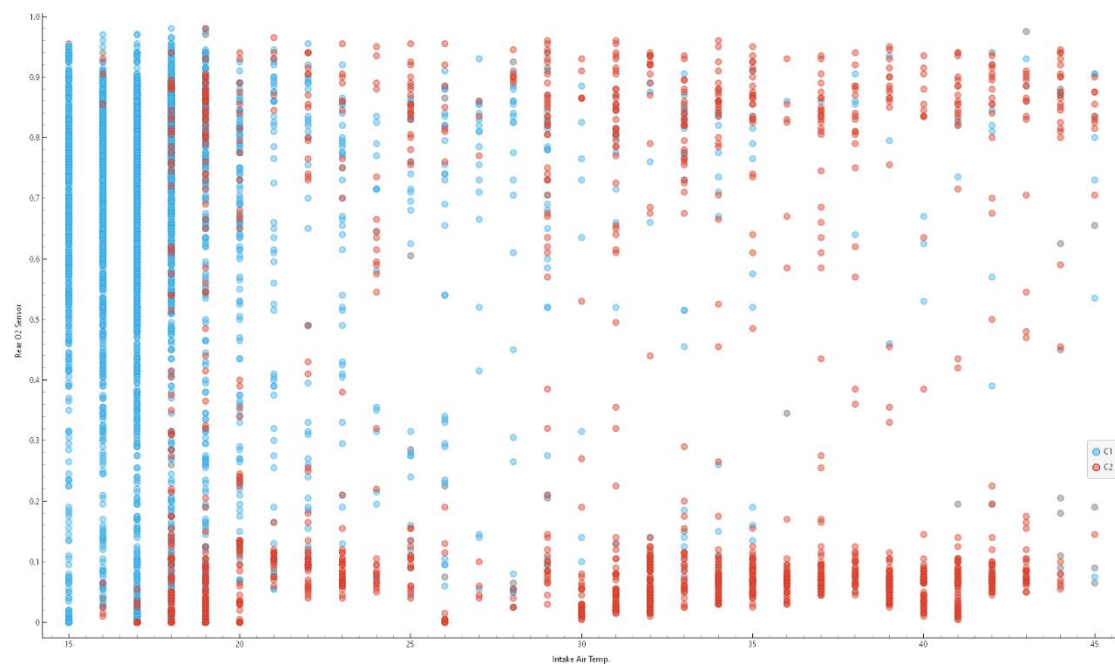
41 Ignition Timing_Main-Accelerator Sensor



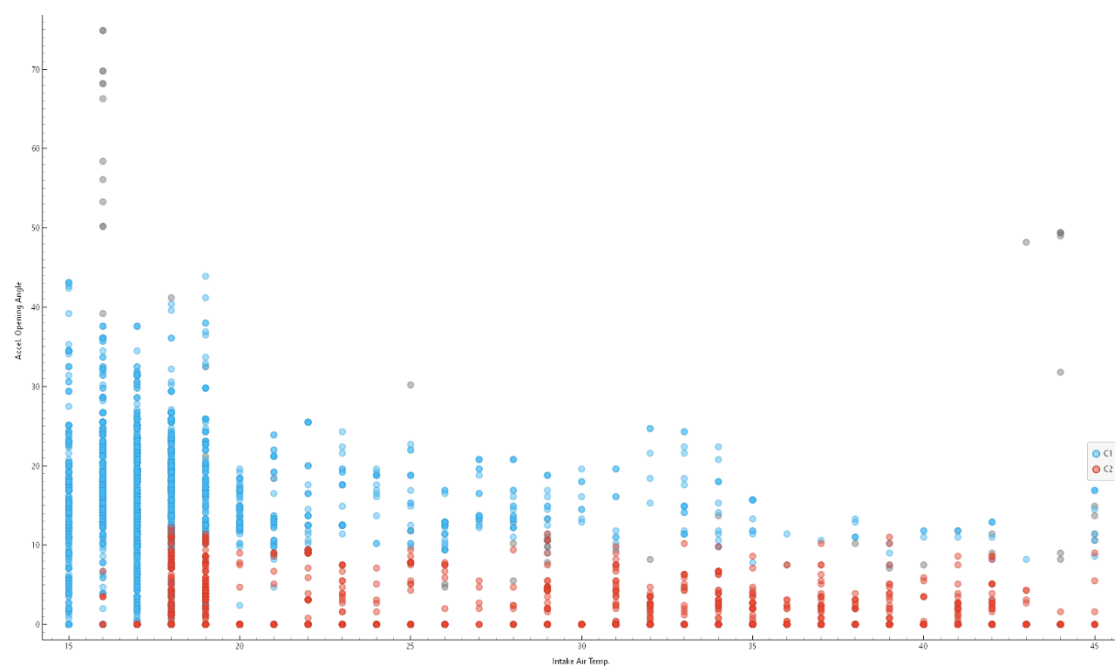
42 Ignition Timing_Exhaust Gas Temperature



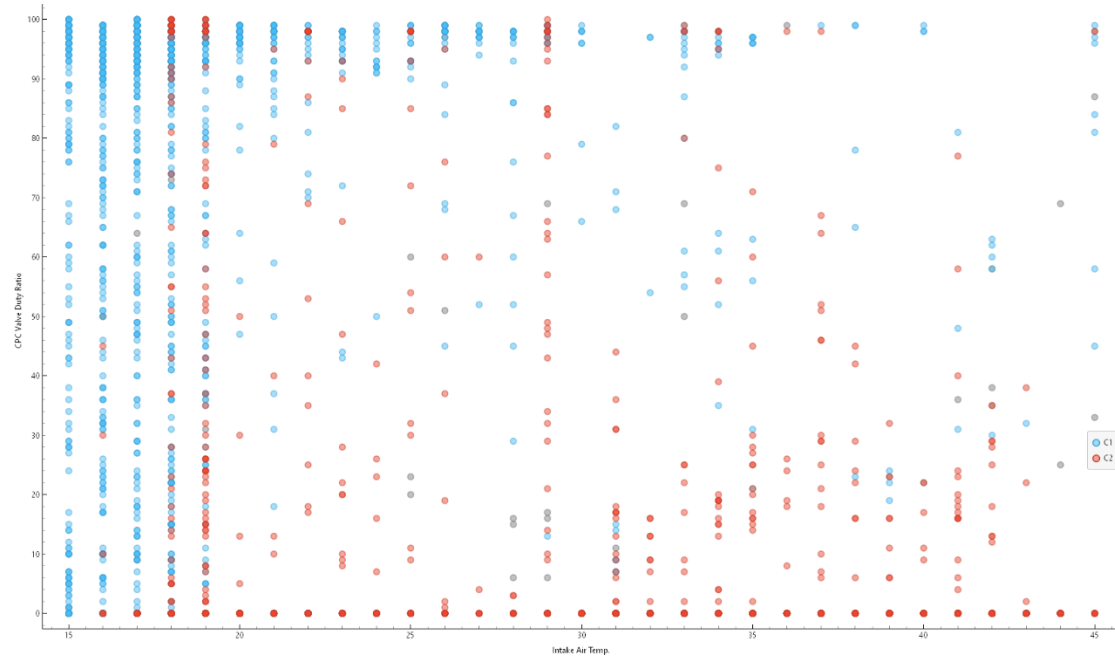
43 Intake Air Temp._Rear O2 Sensor



44 Intake Air Temp._Accel. Opening Angle



45 Intake Air Temp._CPC Valve Duty Ratio



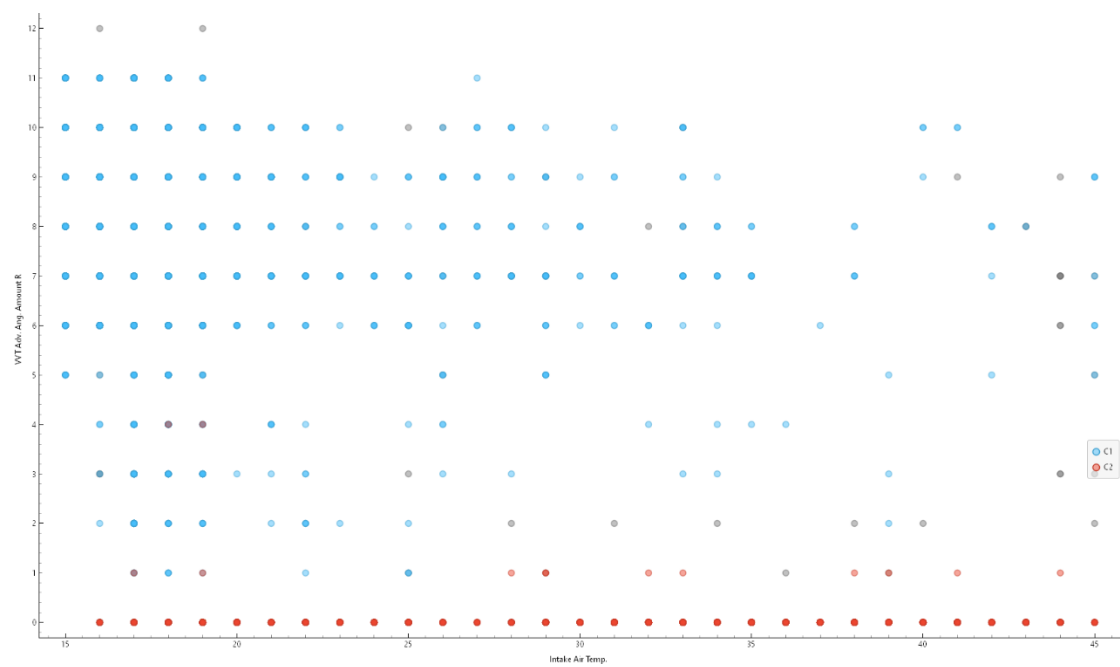
46 Intake Air Temp._TGV Position Sensor R



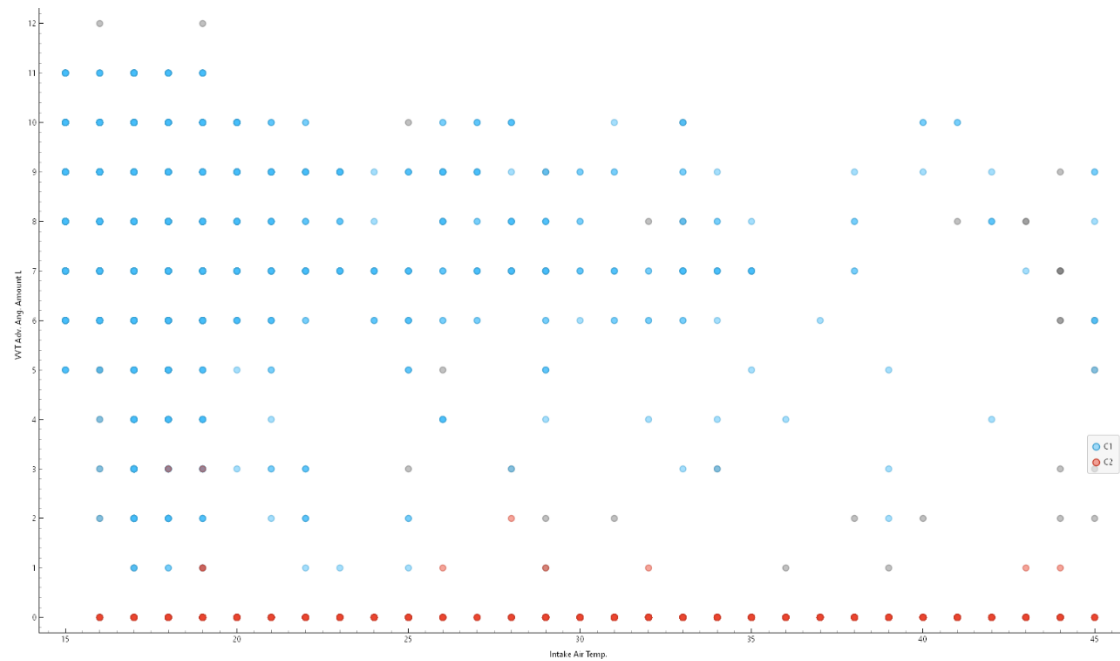
47 Intake Air Temp._TGV Position Sensor L



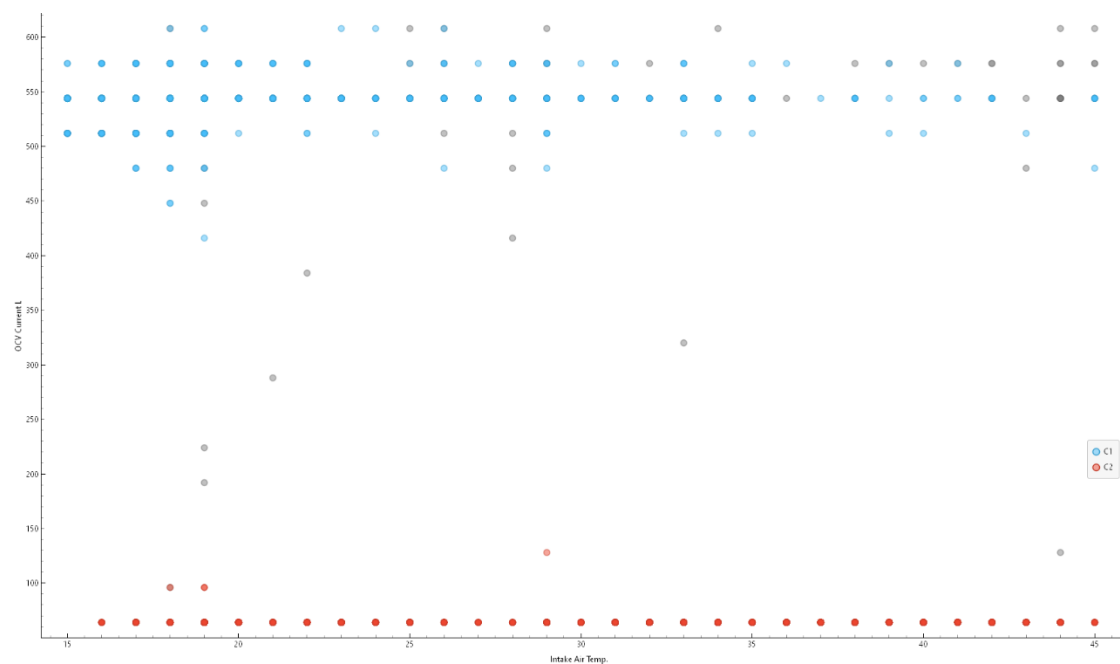
48 Intake Air Temp._VVT Adv. Ang. Amount R



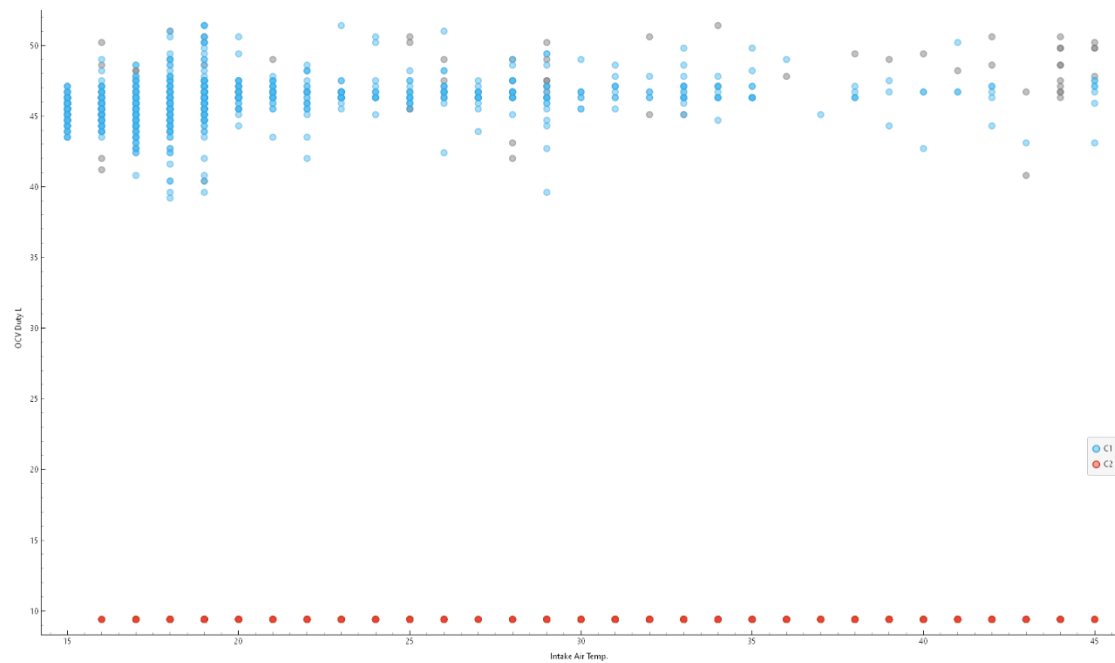
49 Intake Air Temp._VVT Adv. Ang. Amount L



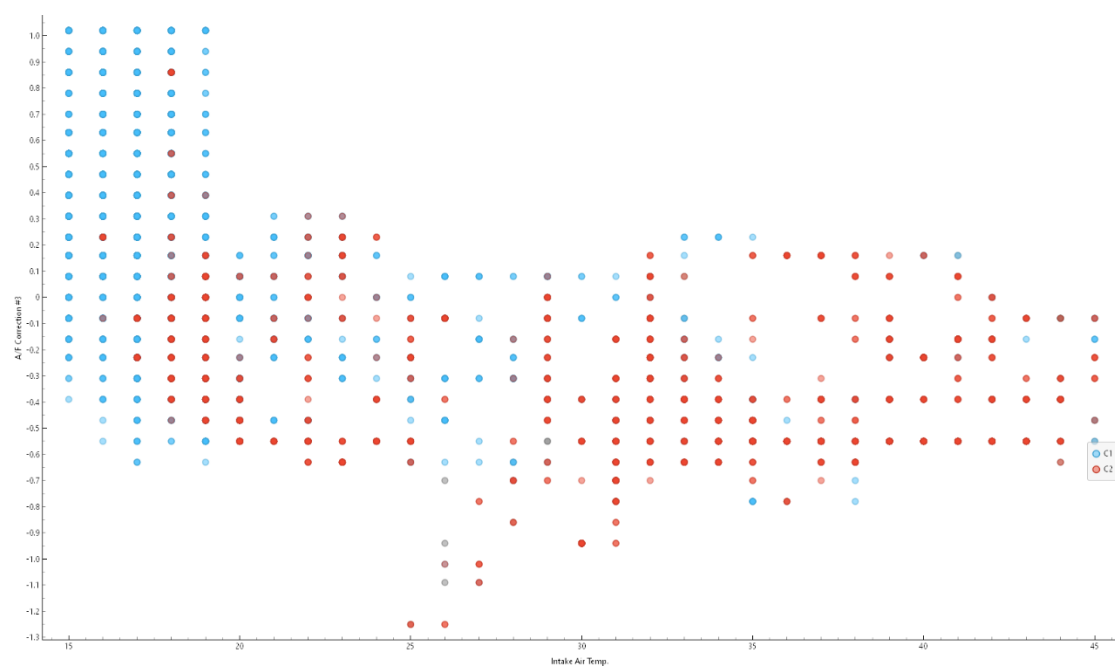
50 Intake Air Temp._OCV Current L



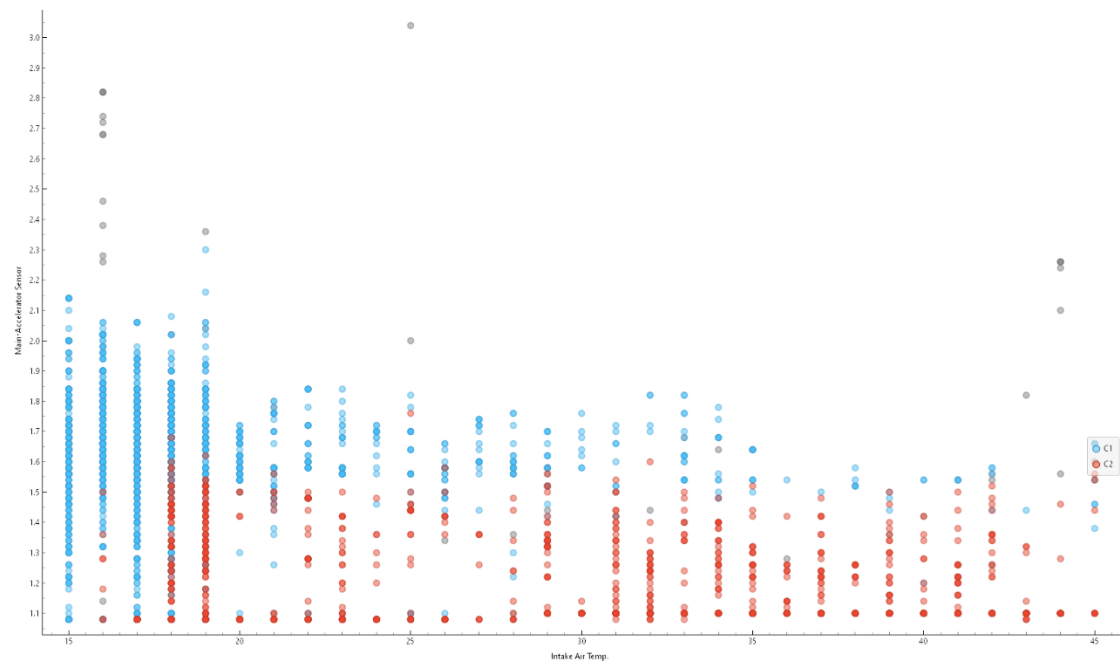
51 Intake Air Temp._OCV Duty L



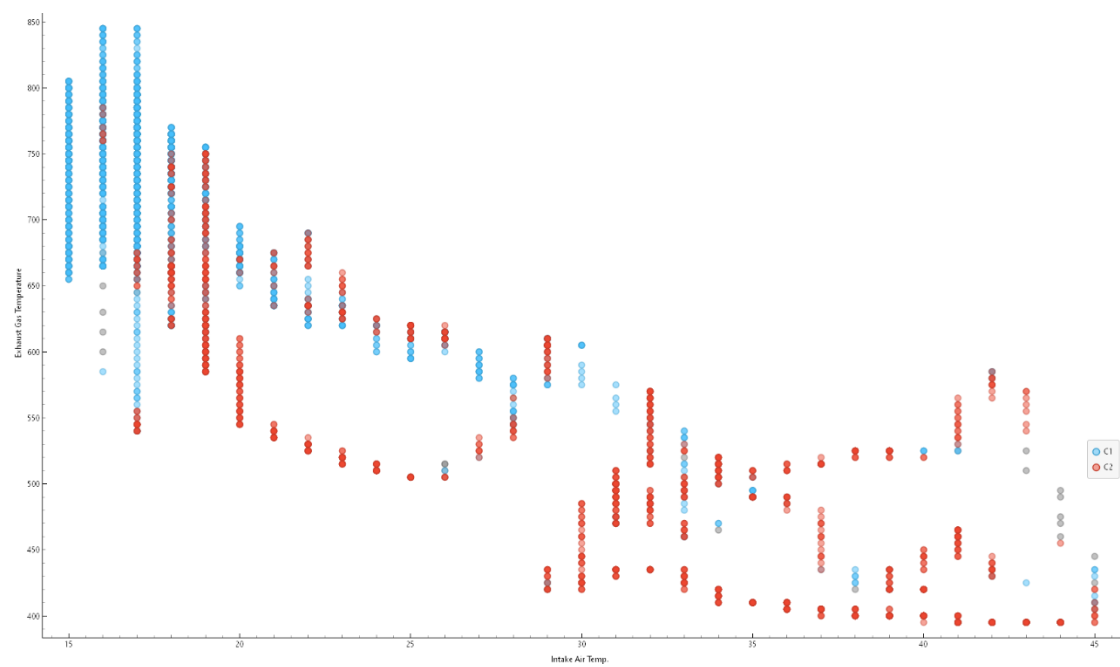
52 Intake Air Temp._A/F Correction #3



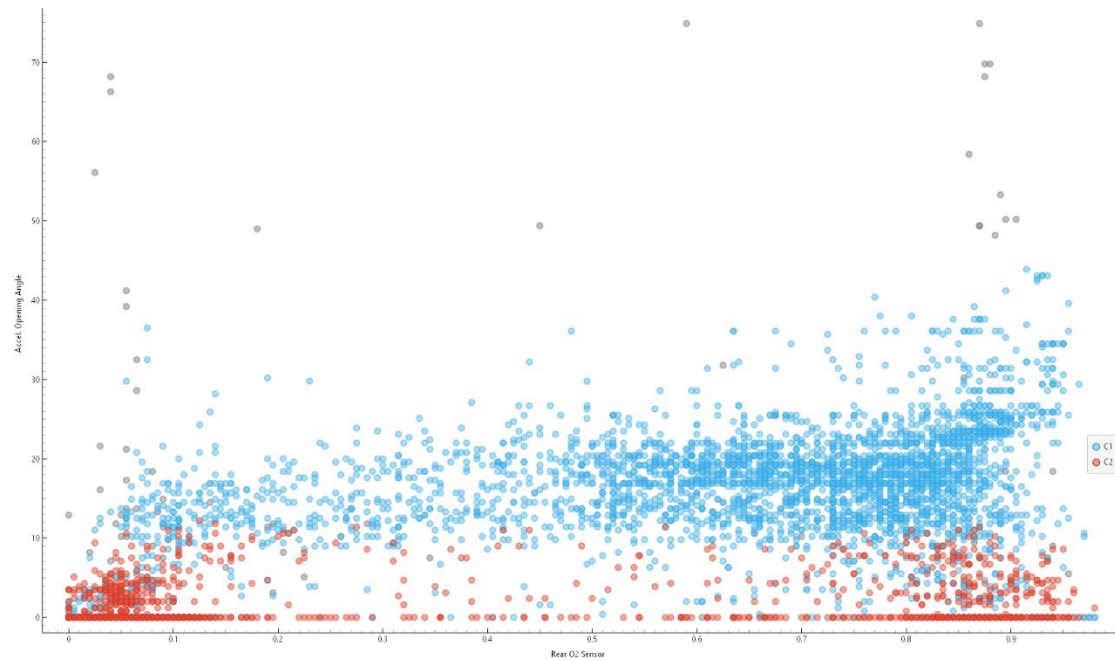
53 Intake Air Temp._Main-Accelerator Sensor



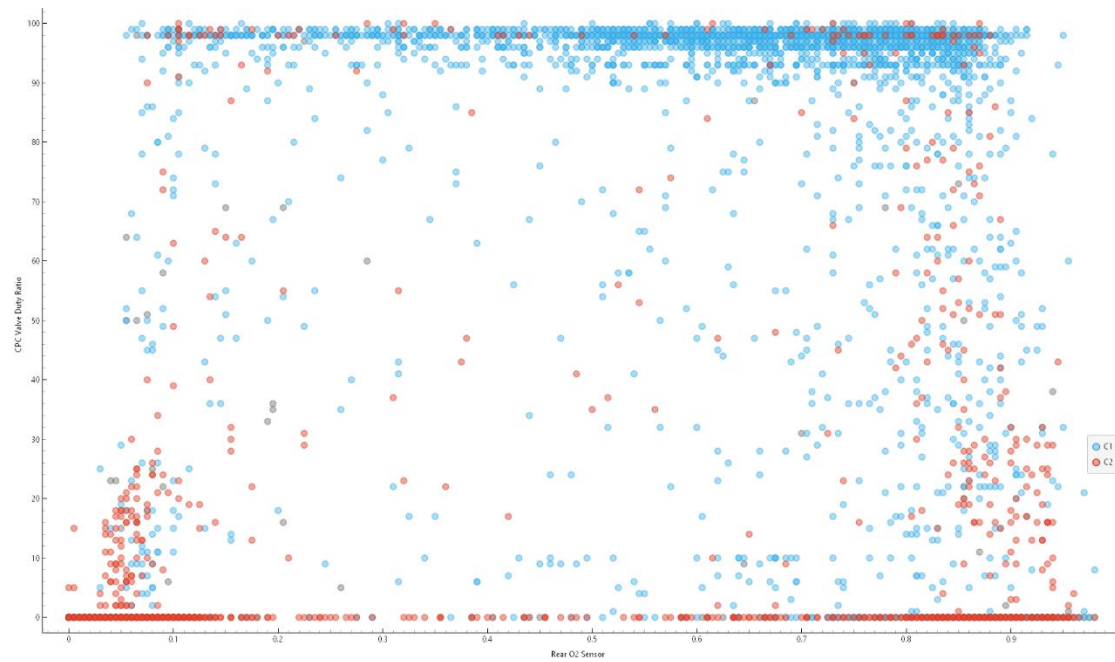
54 Intake Air Temp._Exhaust Gas Temperature



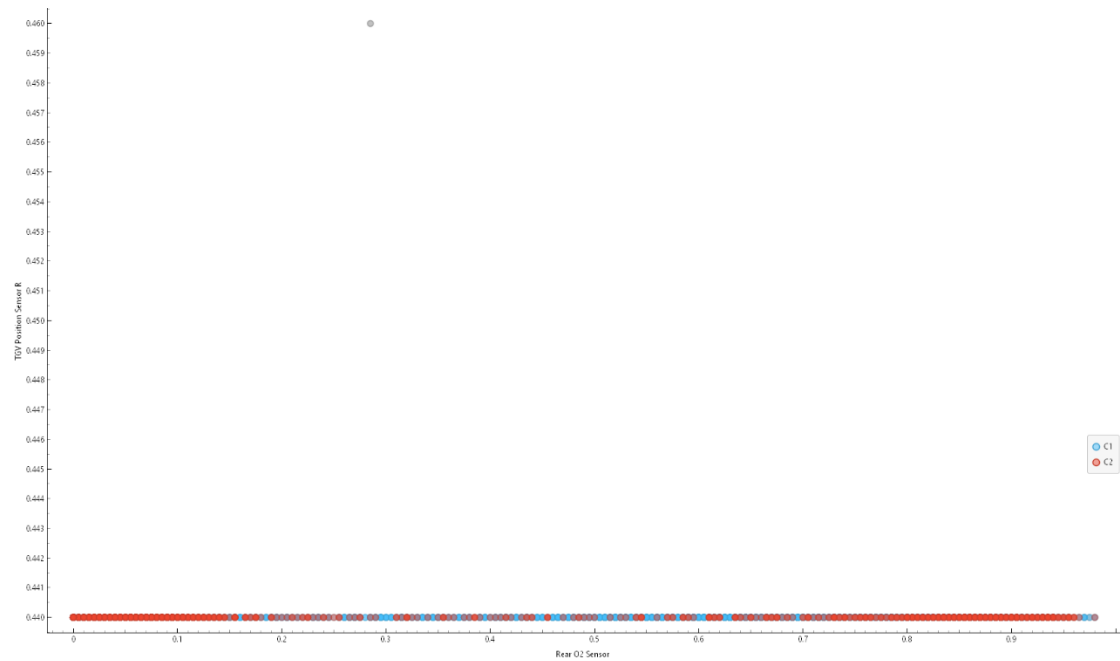
55 Rear O2 Sensor_Accel. Opening Angle



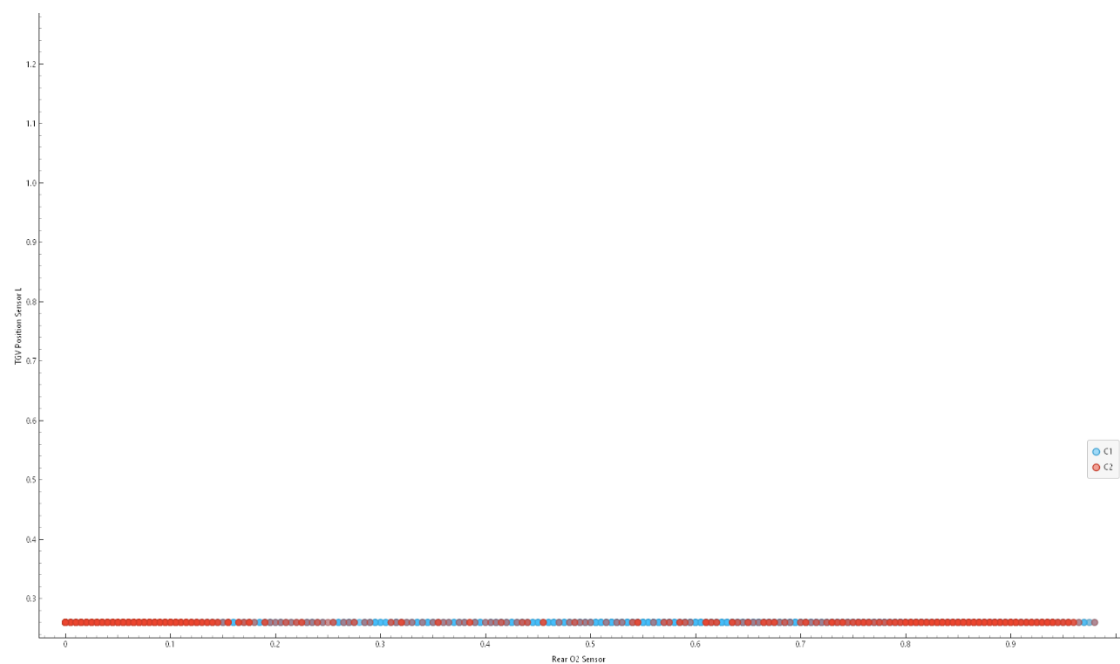
56 Rear O2 Sensor_CPC Valve Duty Ratio



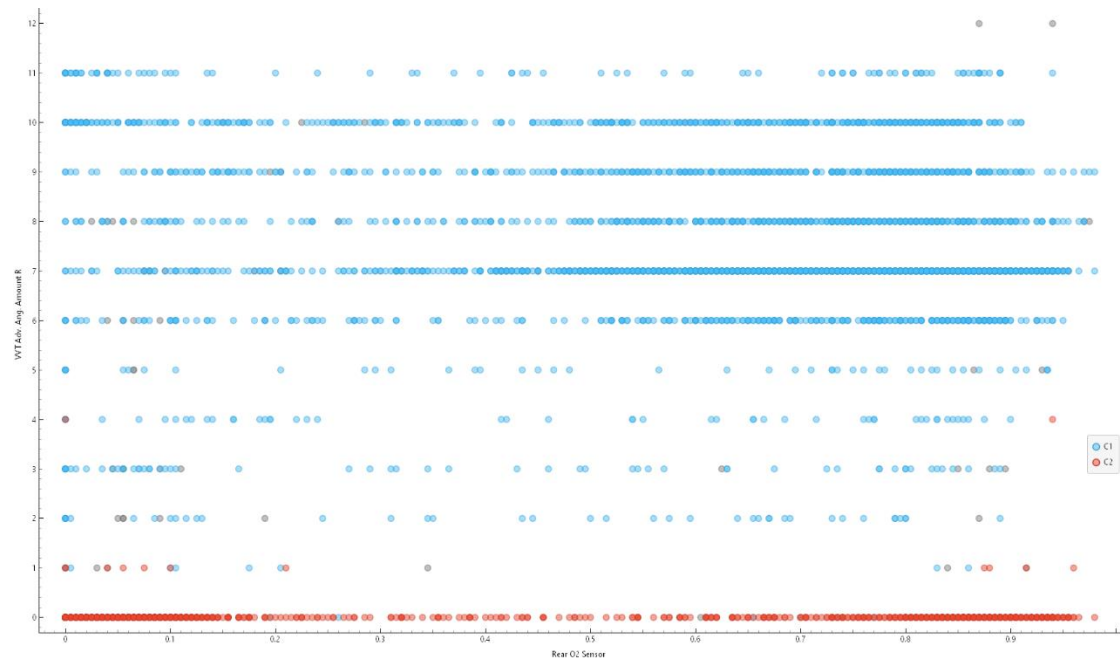
57 Rear O2 Sensor_TGV Position Sensor R



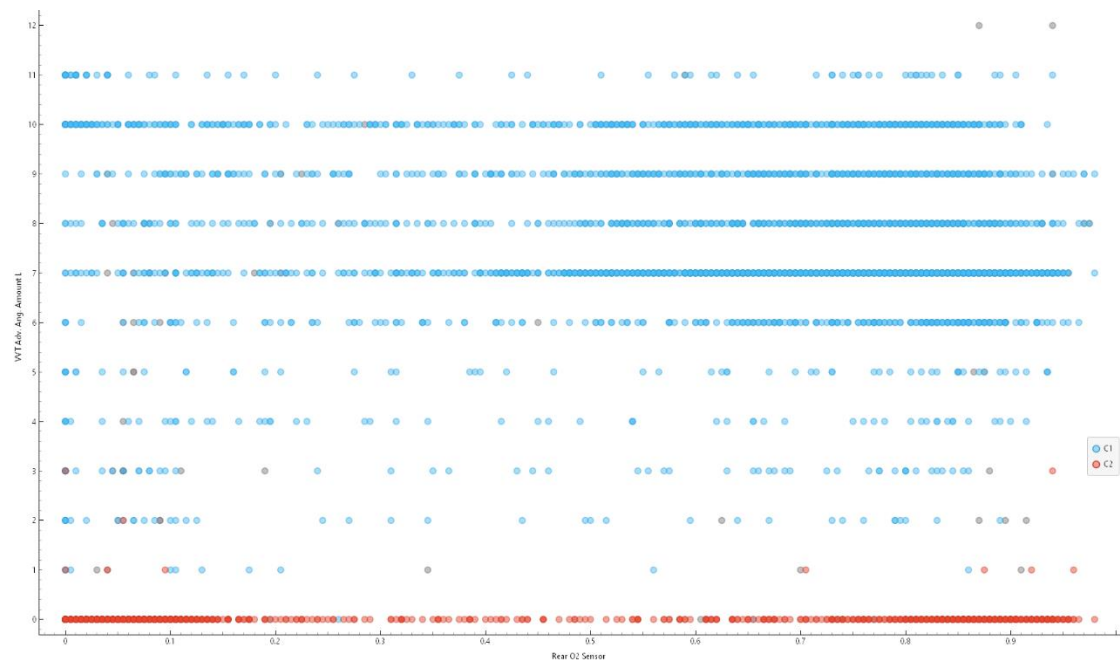
58 Rear O2 Sensor_TGV Position Sensor L



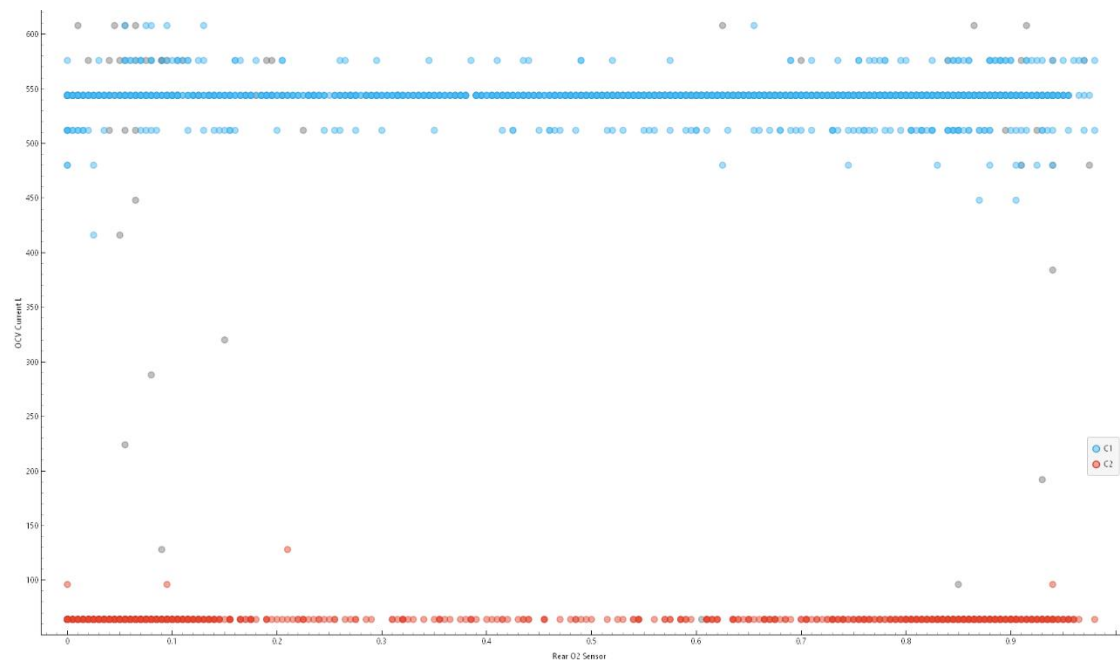
59 Rear O2 Sensor_VVT Adv. Ang. Amount R



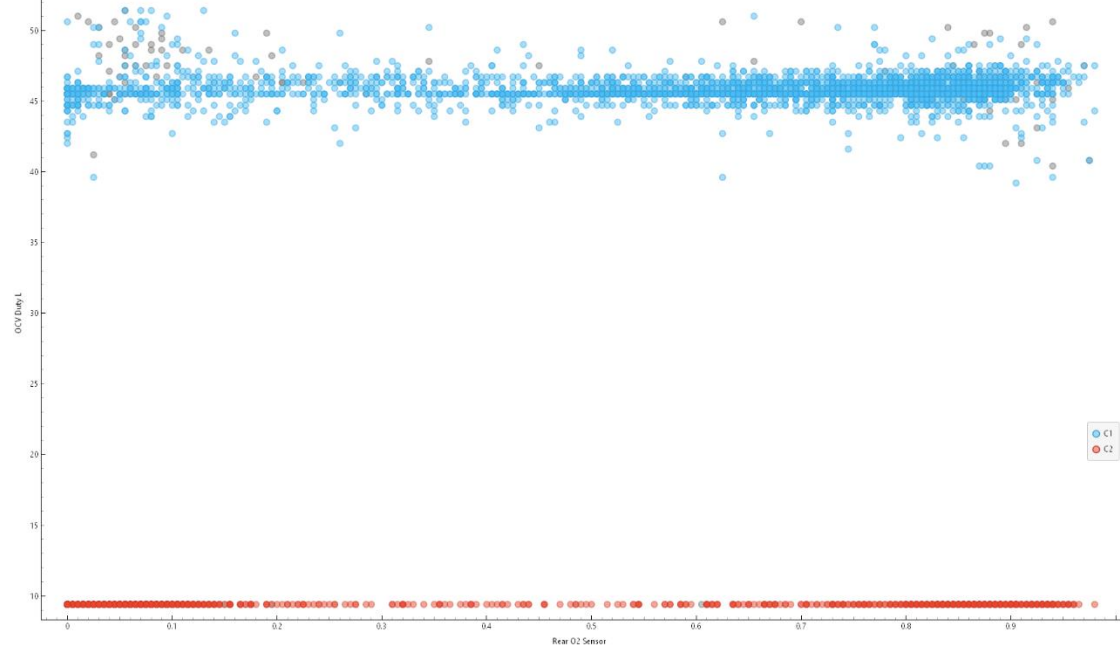
60 Rear O2 Sensor_VVT Adv. Ang. Amount L



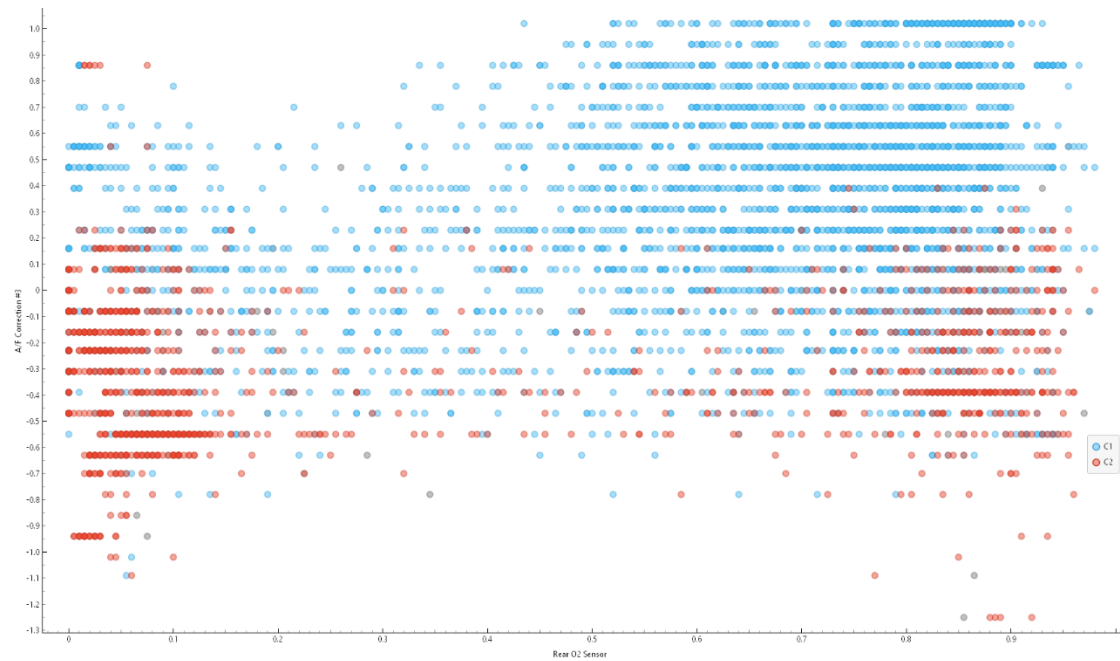
61 Rear O2 Sensor_OCV Current L



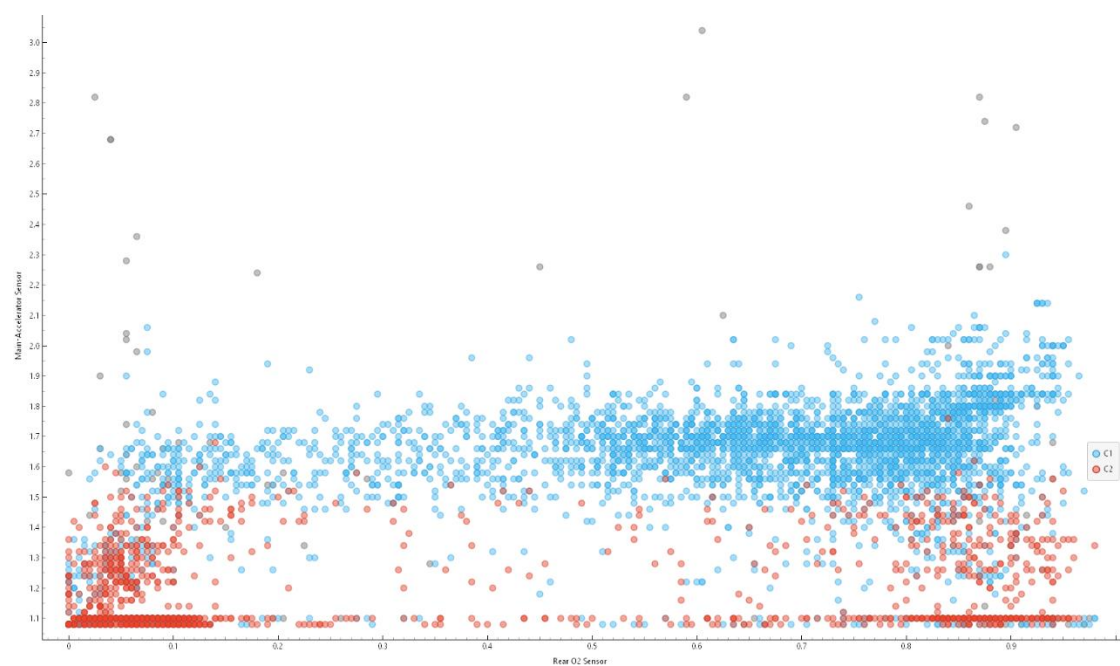
62 Rear O2 Sensor_OCV Duty L



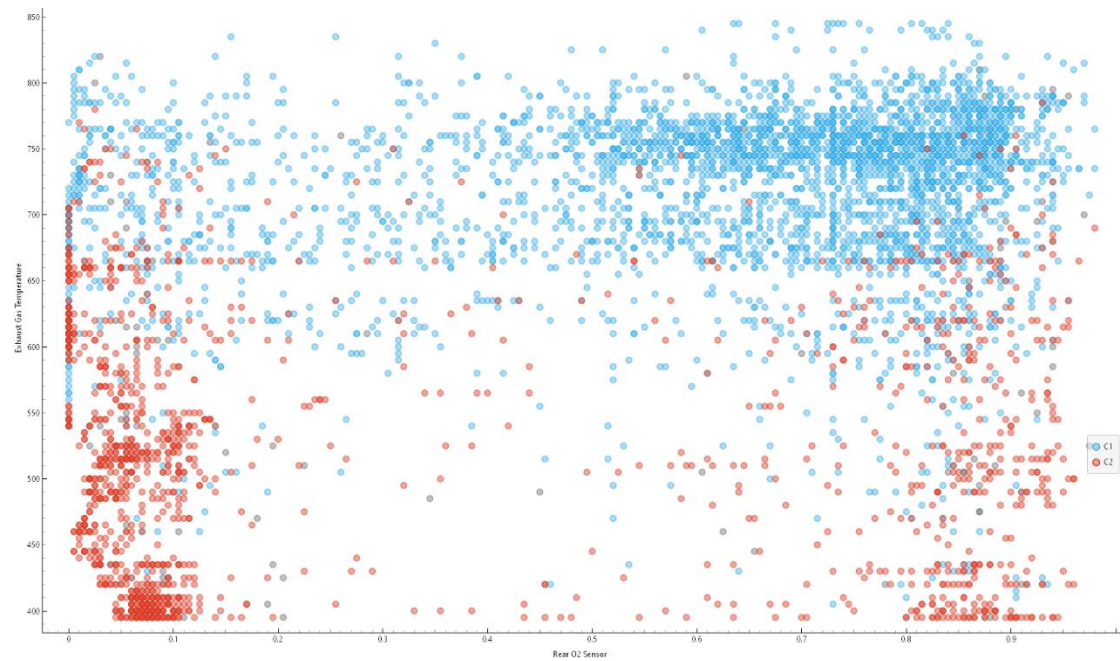
63 Rear O2 Sensor_A/F Correction #3



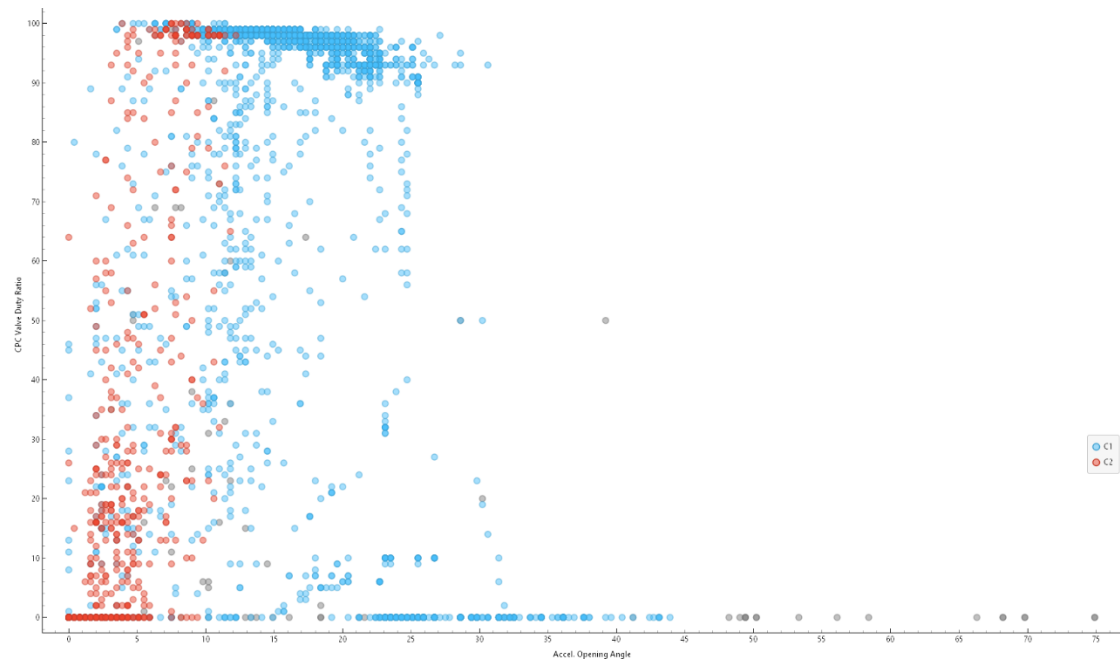
64 Rear O2 Sensor_Main-Accelerator Sensor



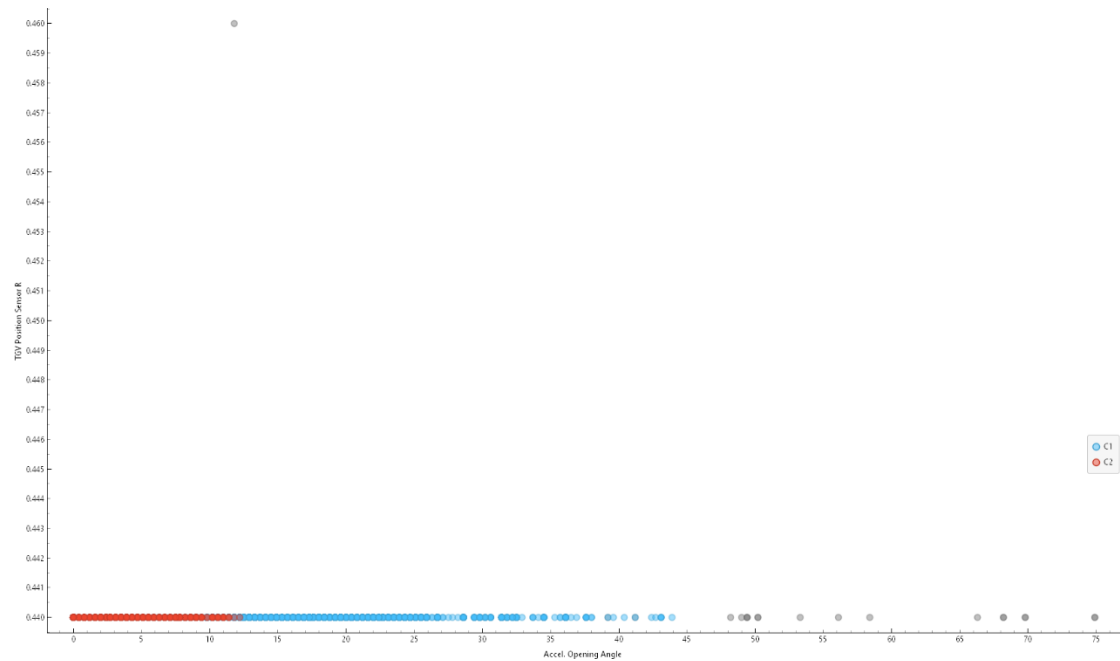
65 Rear O2 Sensor_Exhaust Gas Temperature



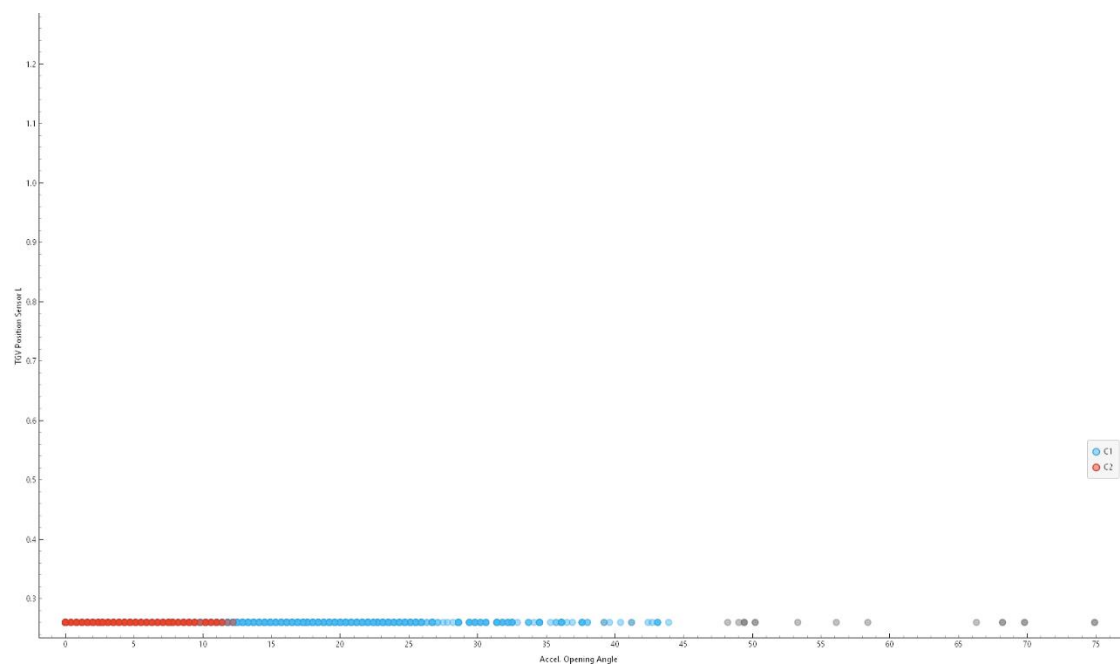
66 Accel. Opening Angle_CPC Valve Duty Ratio



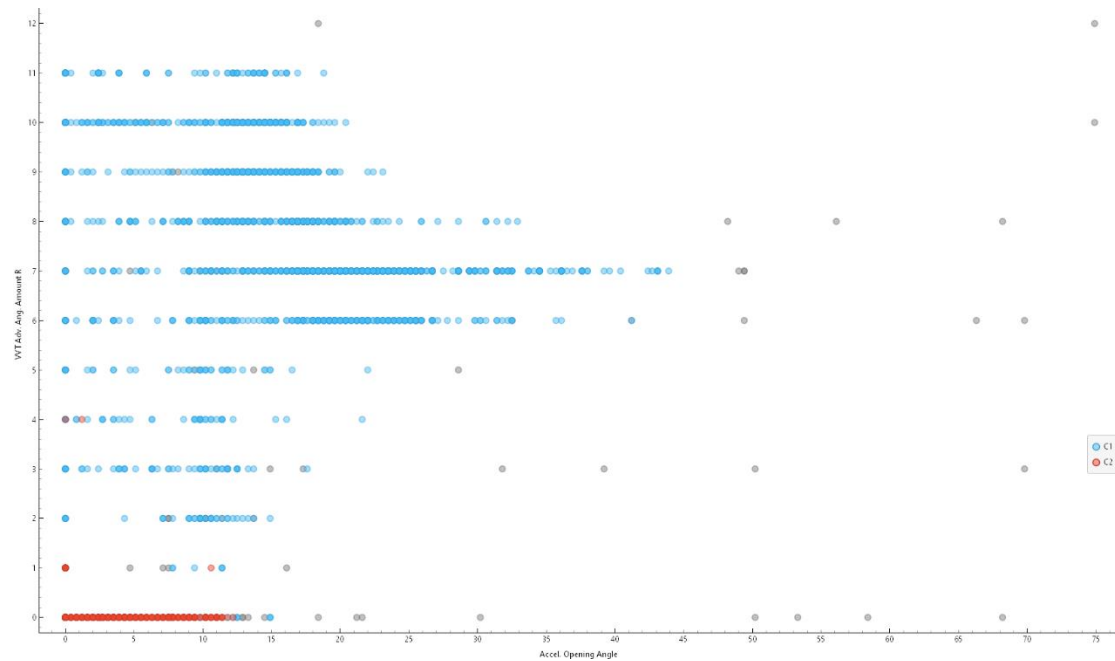
67 Accel. Opening Angle_TGV Position Sensor R



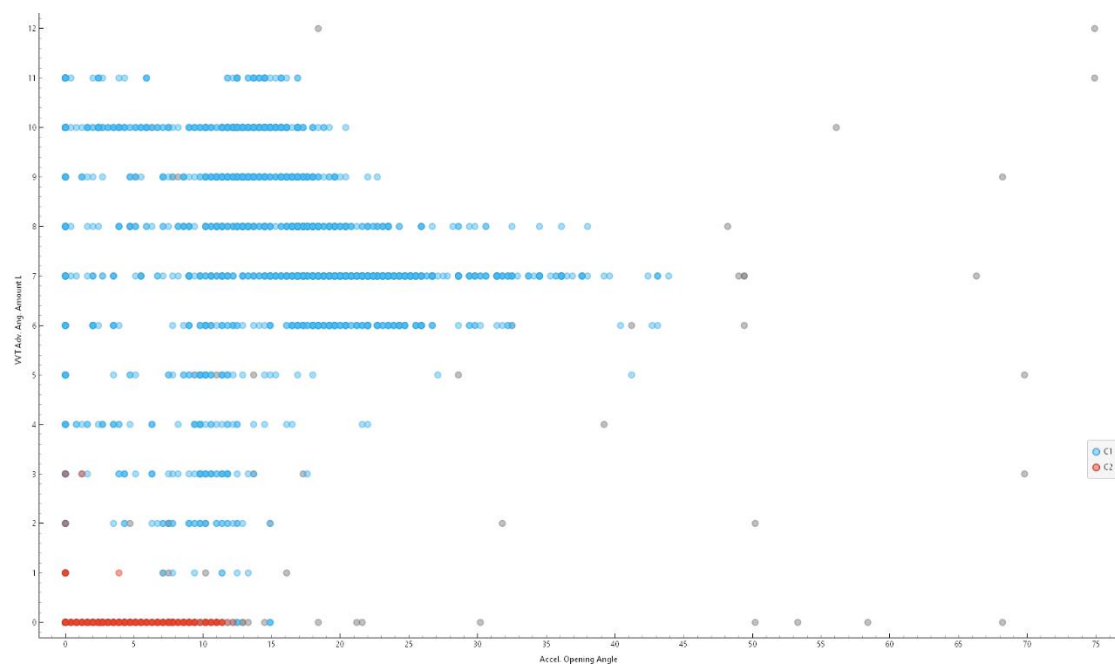
68 Accel. Opening Angle_TGV Position Sensor L



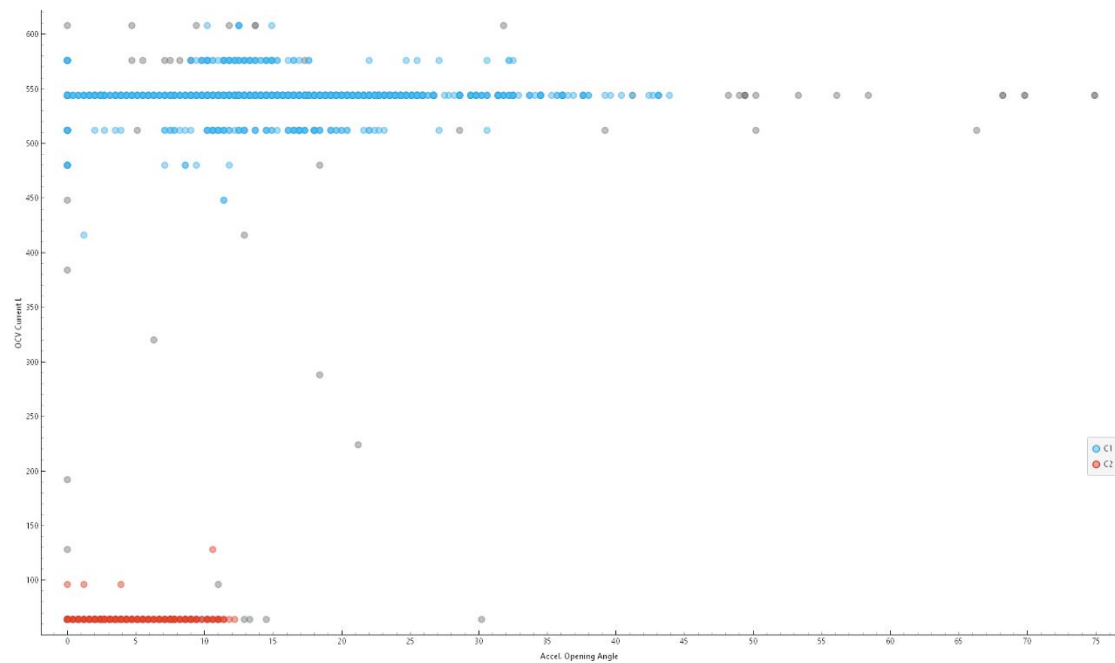
69 Accel. Opening Angle_VVT Adv. Ang. Amount R



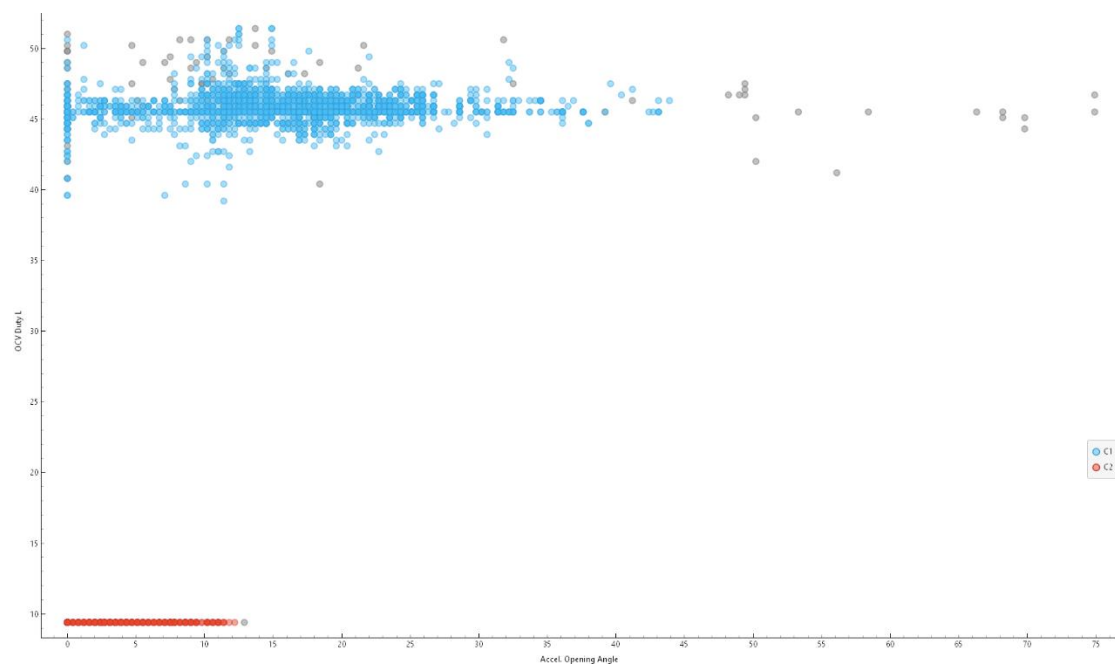
70 Accel. Opening Angle_VVT Adv. Ang. Amount L



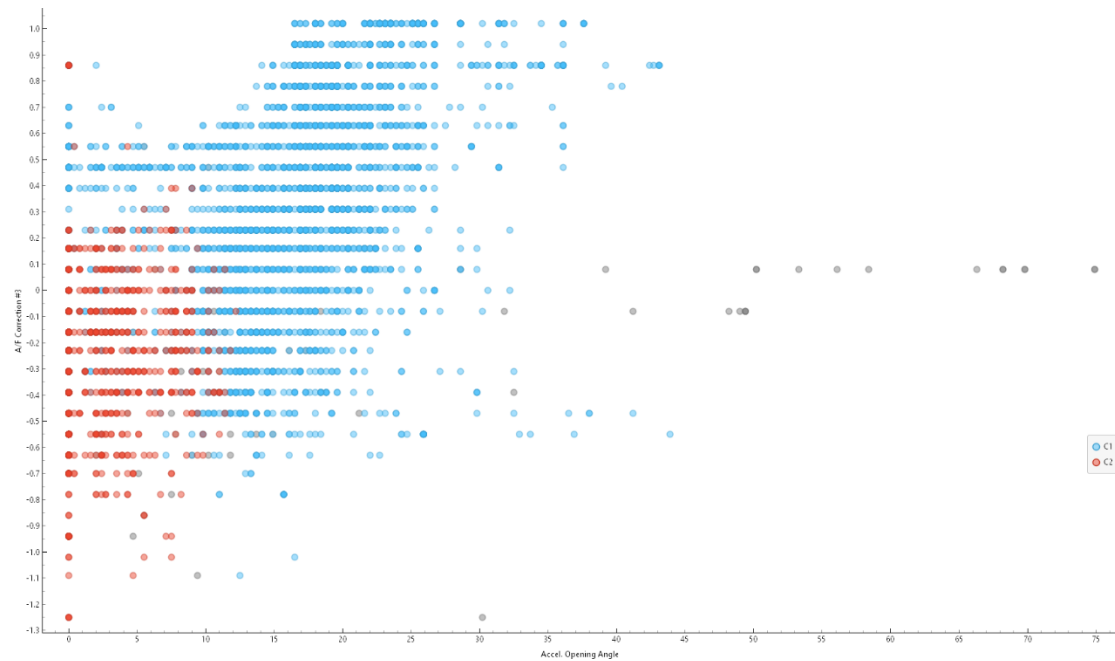
71 Accel. Opening Angle_OCV Current L



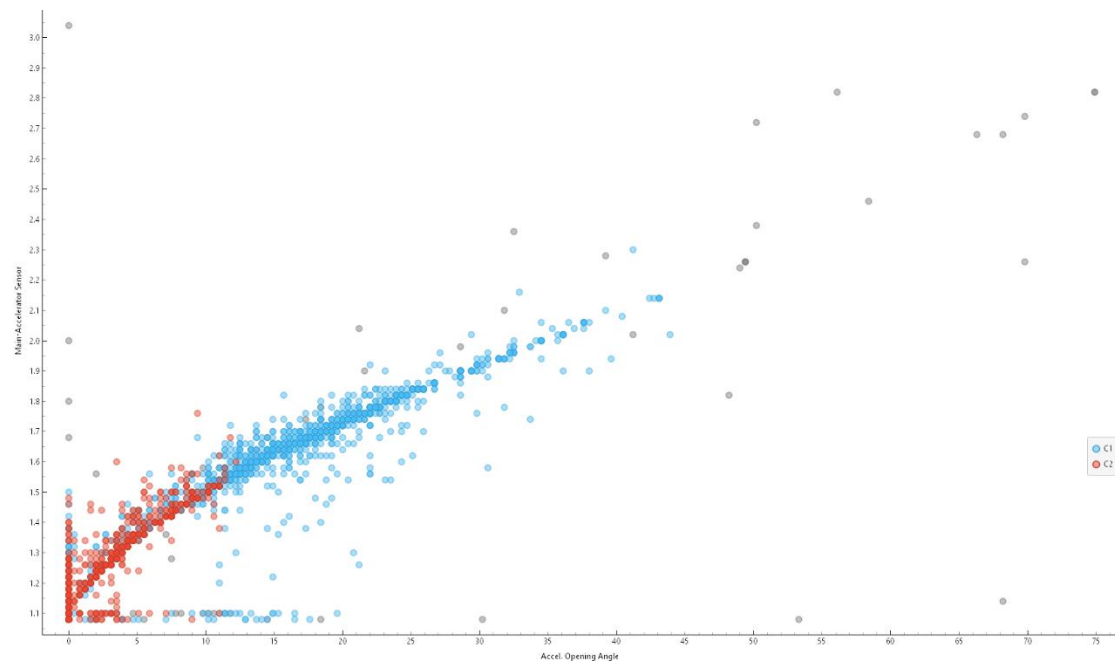
72 Accel. Opening Angle_OCV Duty L



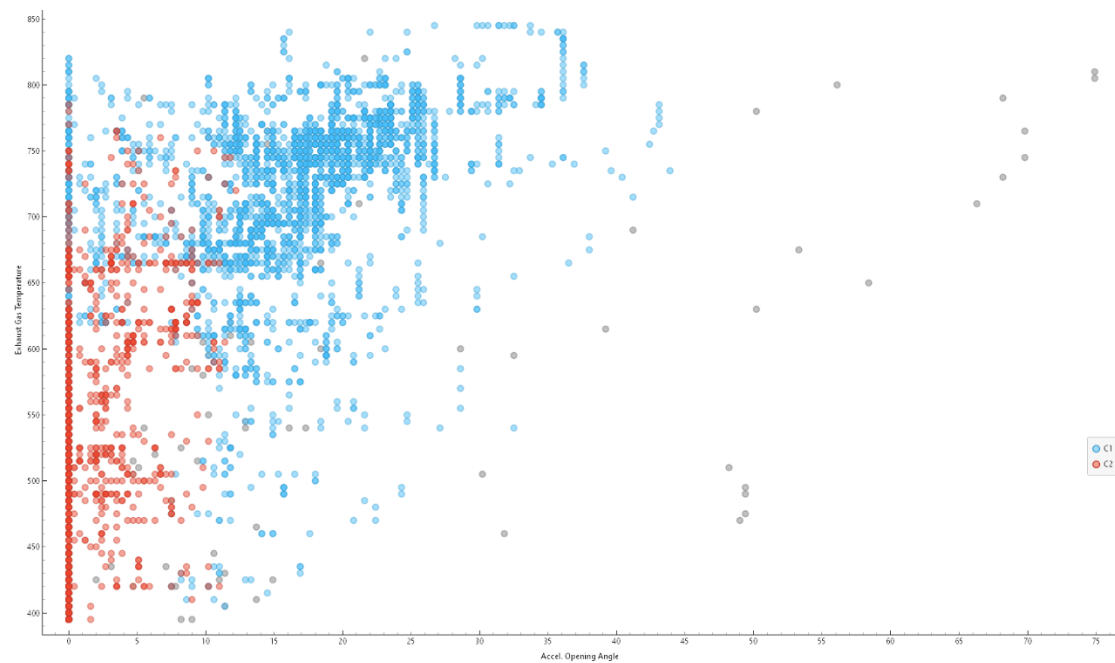
73 Accel. Opening Angle_A/F Correction #3



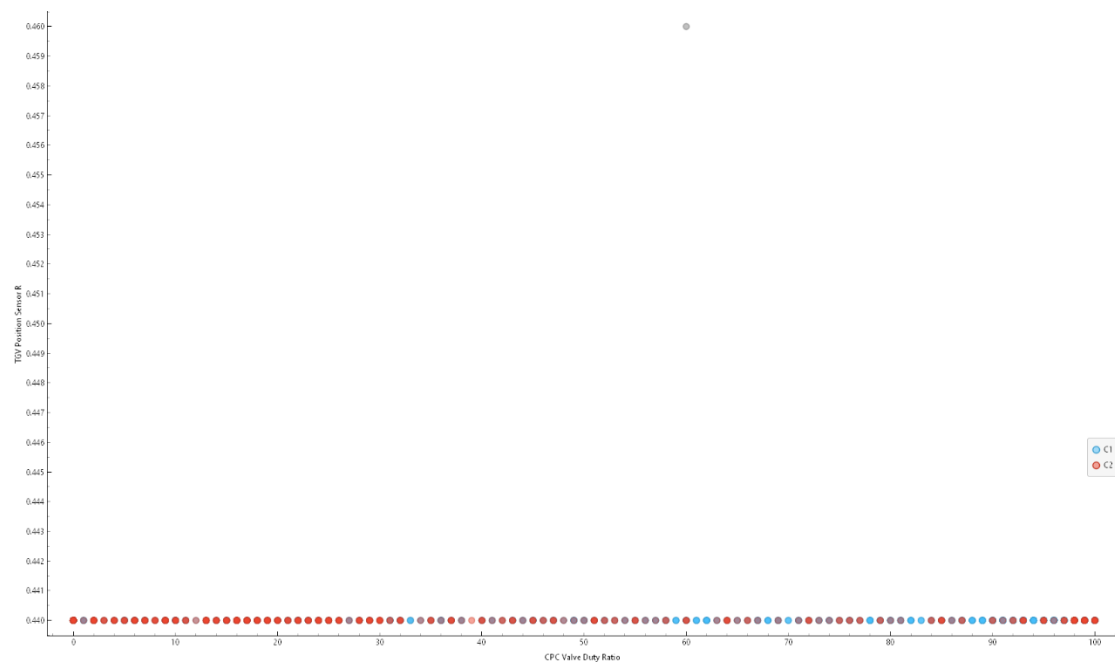
74 Accel. Opening Angle_Main-Accelerator Sensor



75 Accel. Opening Angle_Exhaust Gas Temperature



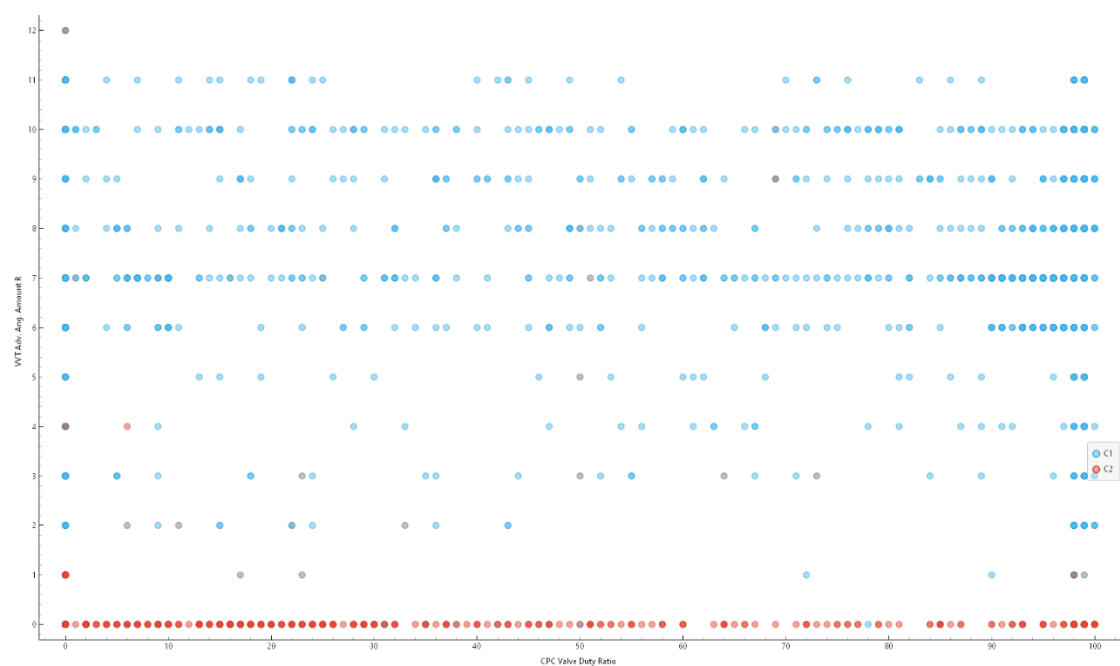
76 CPC Valve Duty Ratio_TGV Position Sensor R



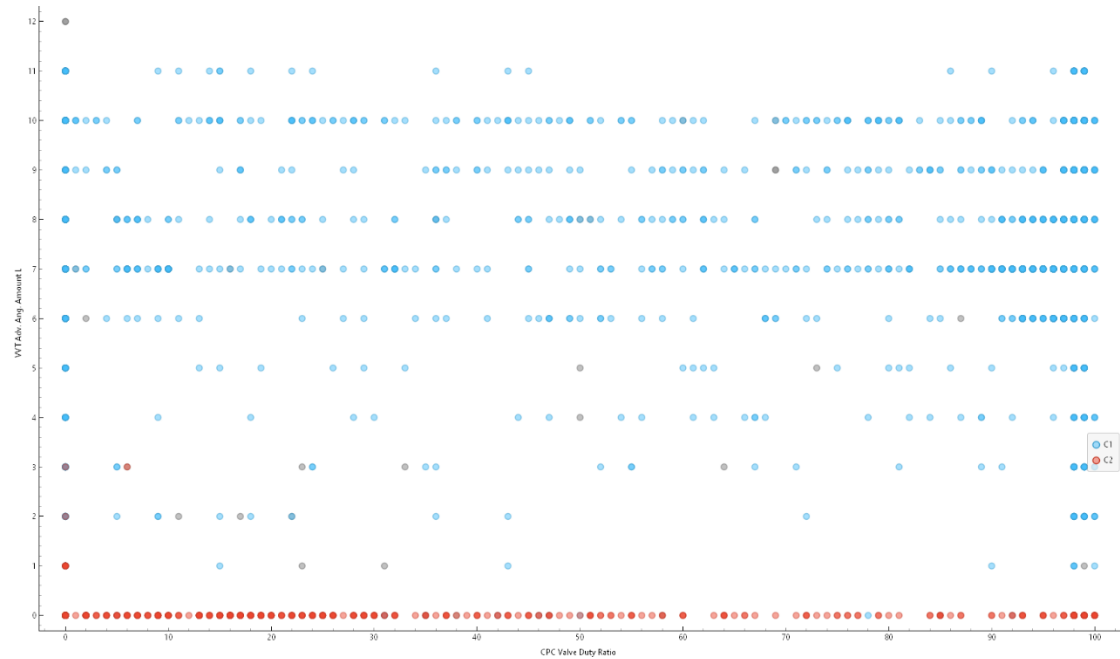
77 CPC Valve Duty Ratio_TGV Position Sensor L



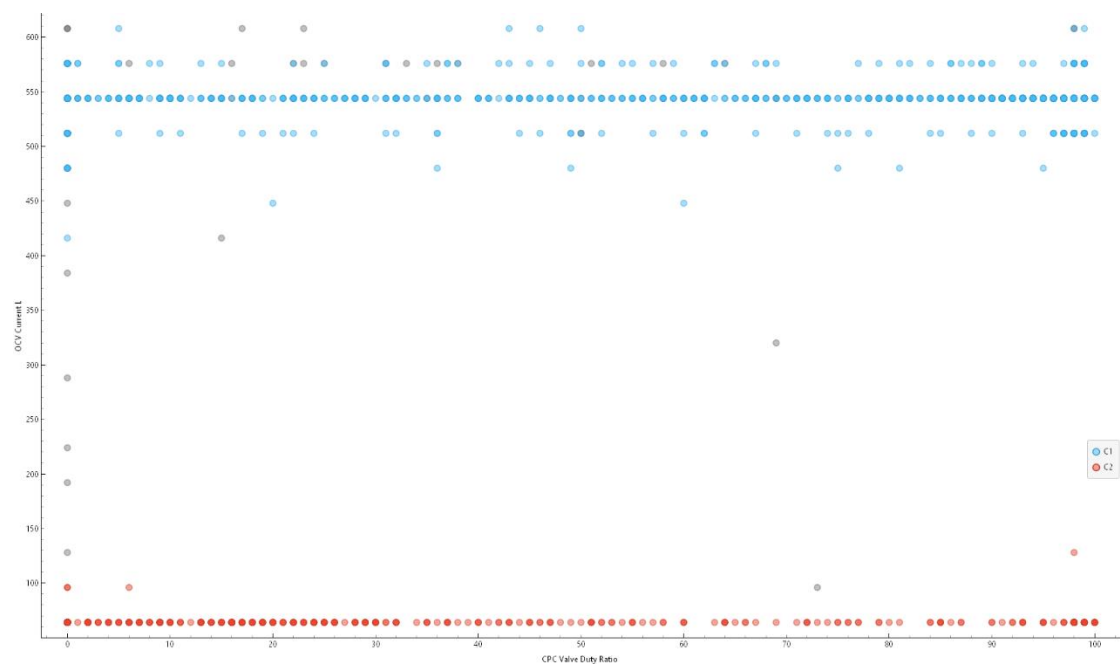
78 CPC Valve Duty Ratio_VVT Adv. Ang. Amount R



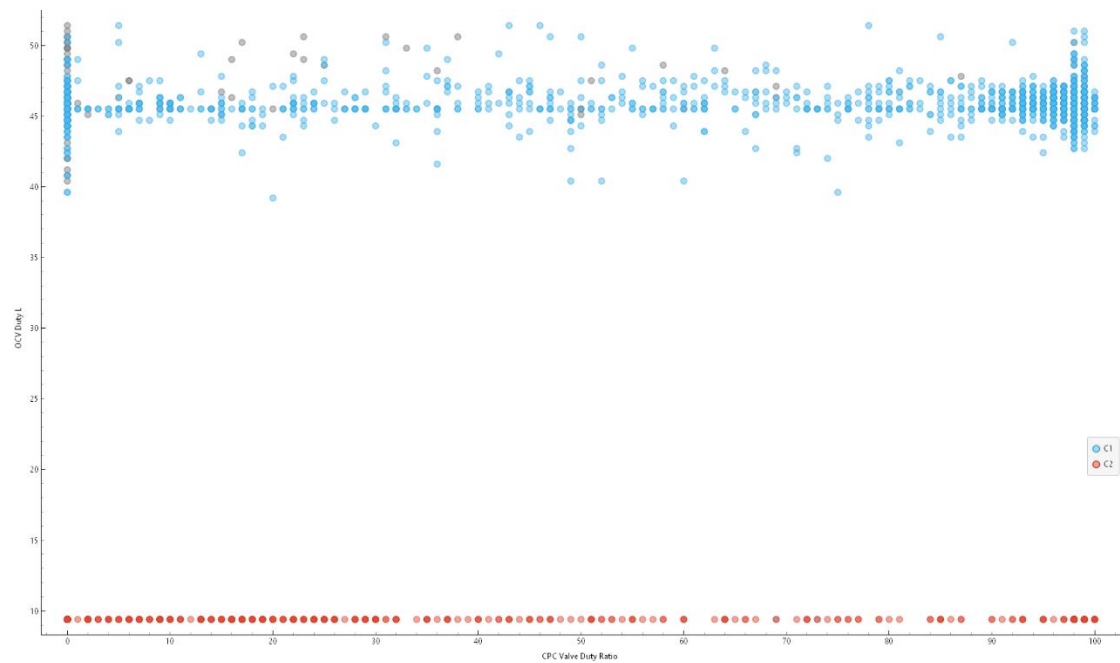
79 CPC Valve Duty Ratio_VVT Adv. Ang. Amount L



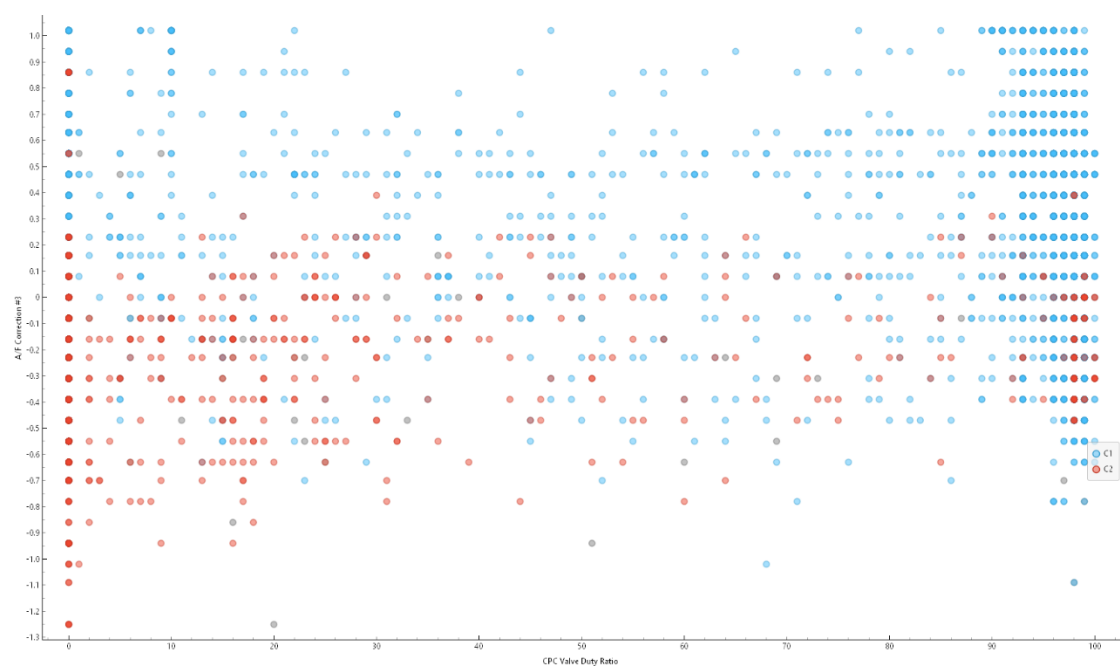
80 CPC Valve Duty Ratio_OCV Current L



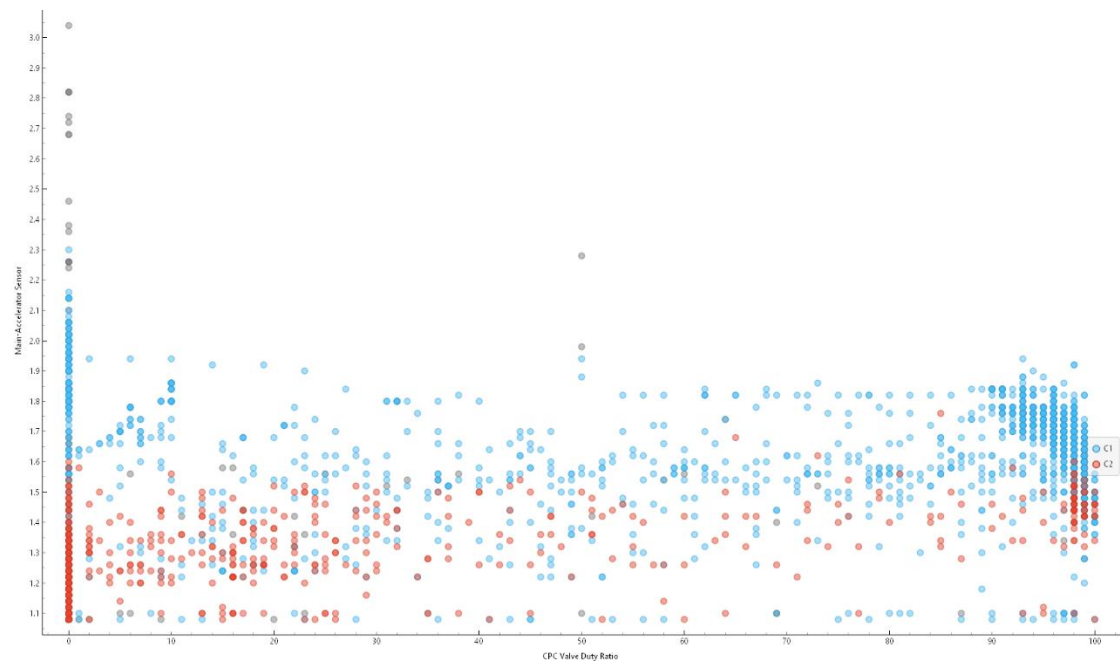
81 CPC Valve Duty Ratio_OCV Duty L



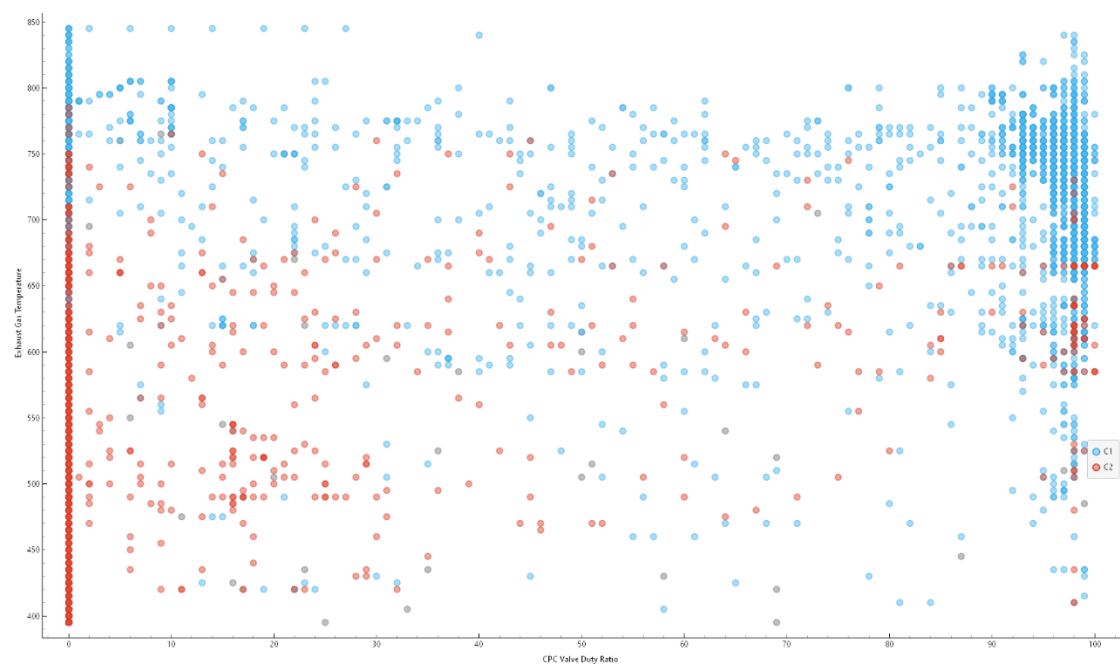
82 CPC Valve Duty Ratio_A/F Correction #3



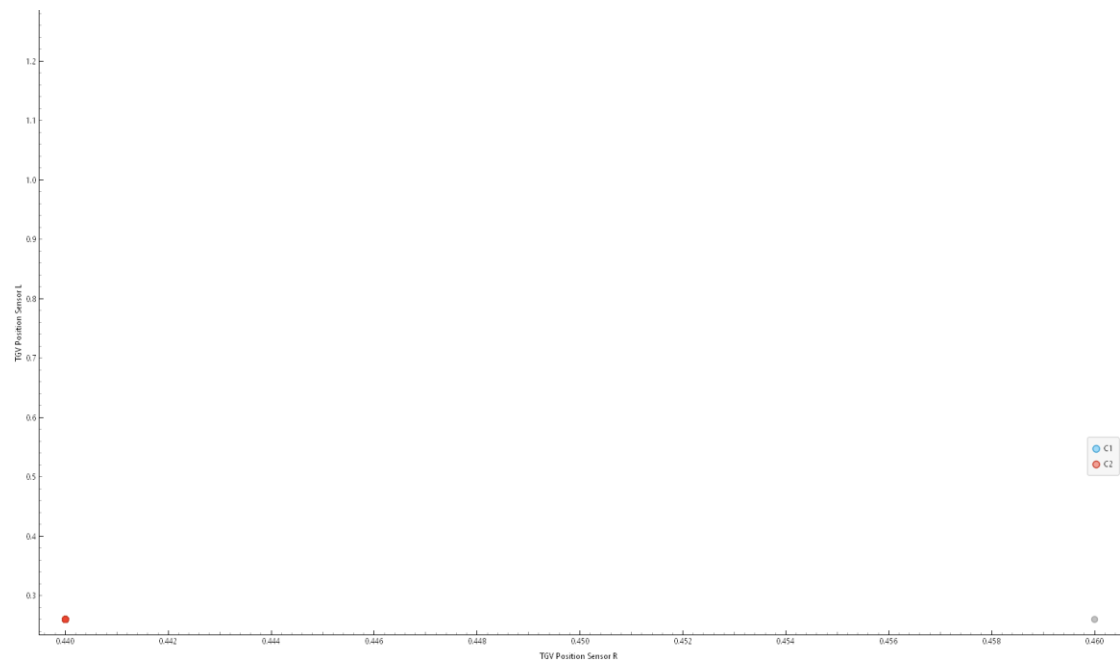
83 CPC Valve Duty Ratio_Main-Accelerator Sensor



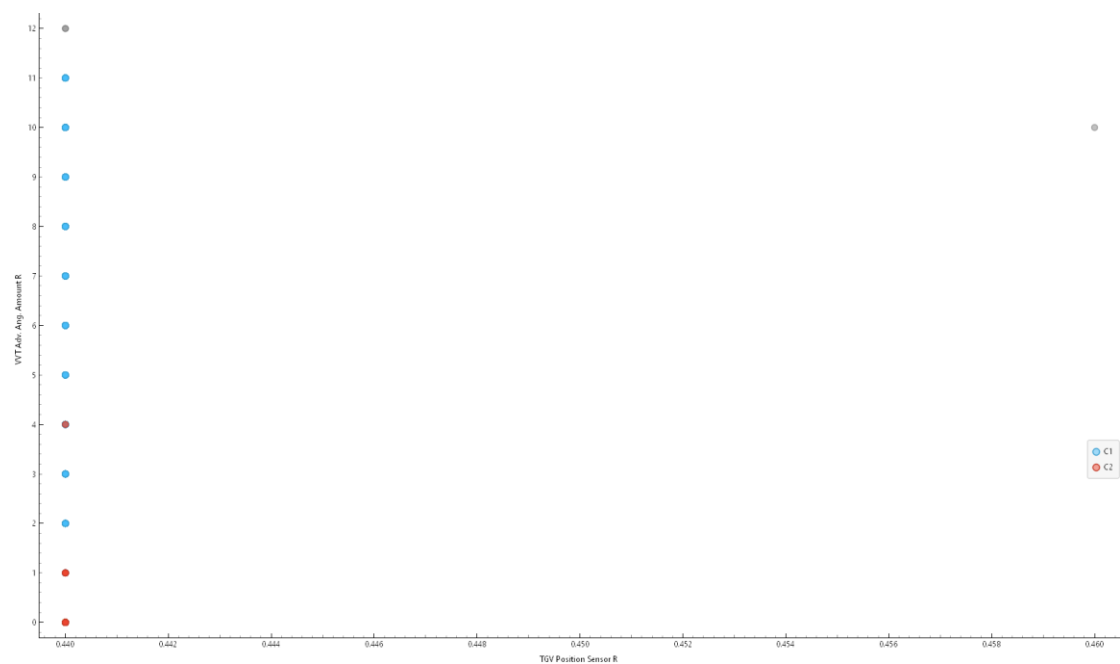
84 CPC Valve Duty Ratio_Exhaust Gas Temperature



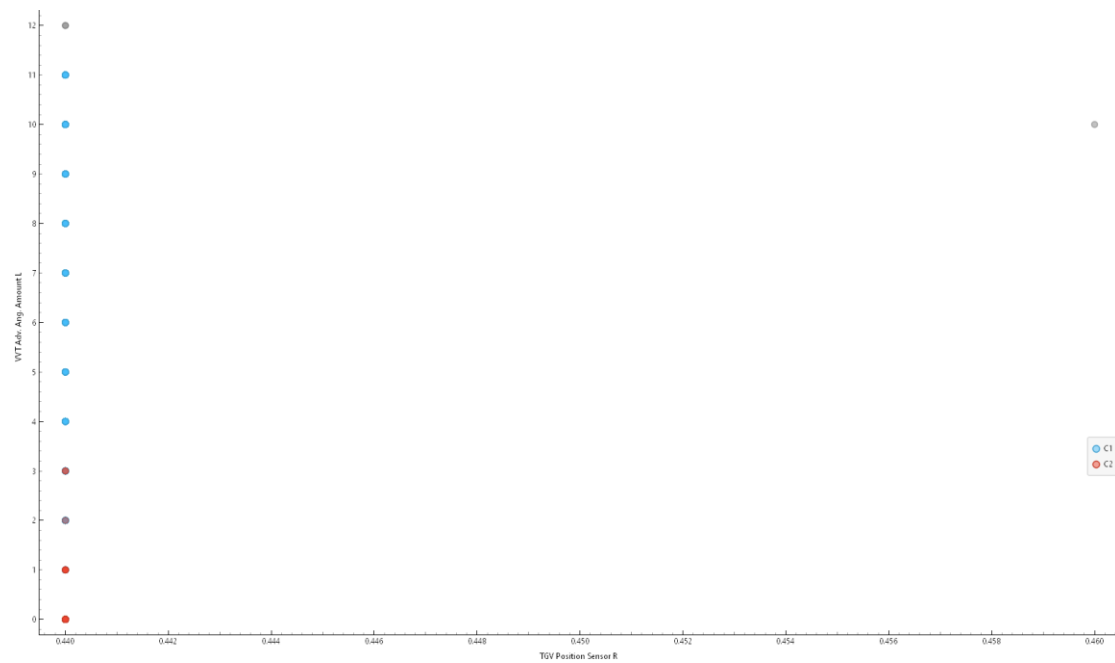
85 TGV Position Sensor R_TGV Position Sensor L



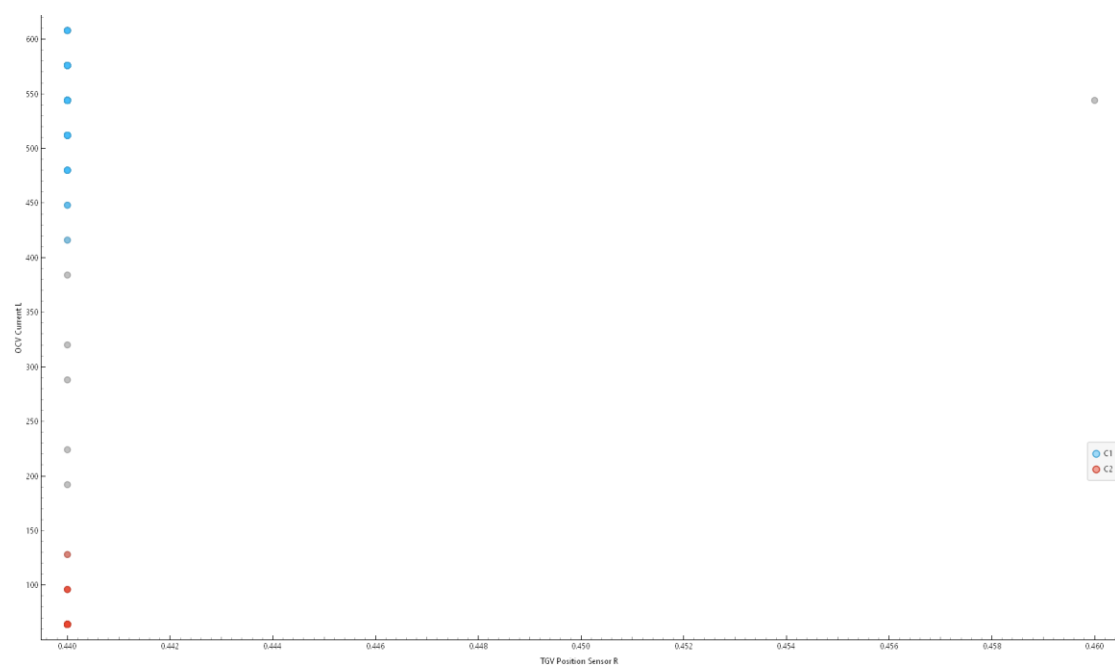
86 TGV Position Sensor R_VVT Adv. Ang. Amount R



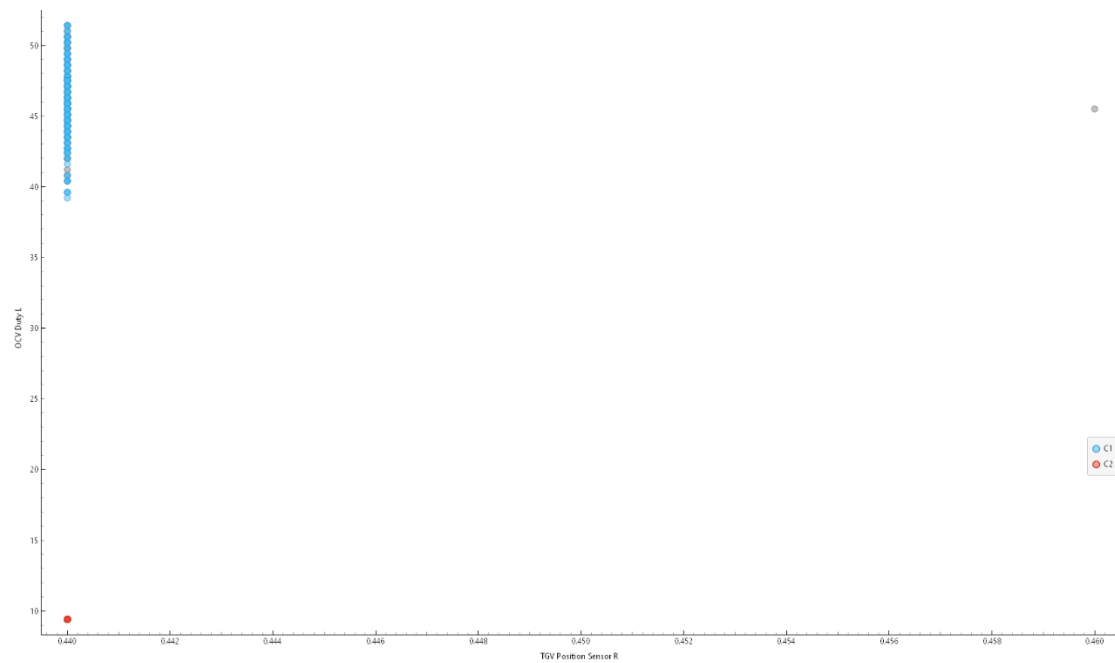
87 TGV Position Sensor R_VVT Adv. Ang. Amount L



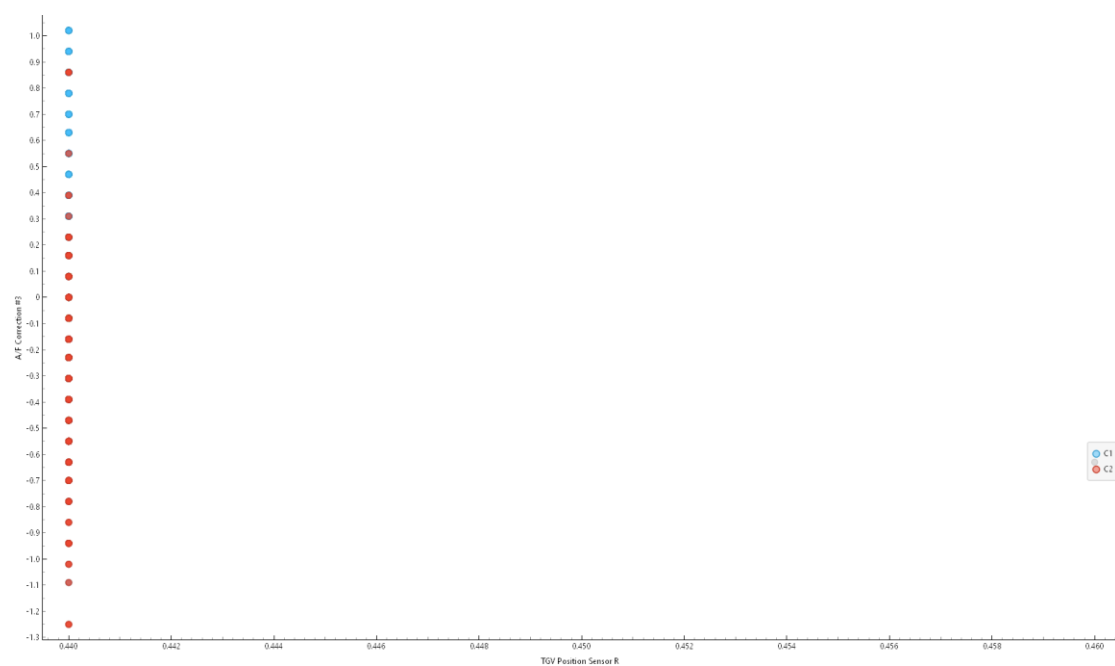
88 TGV Position Sensor R_OCV Current L



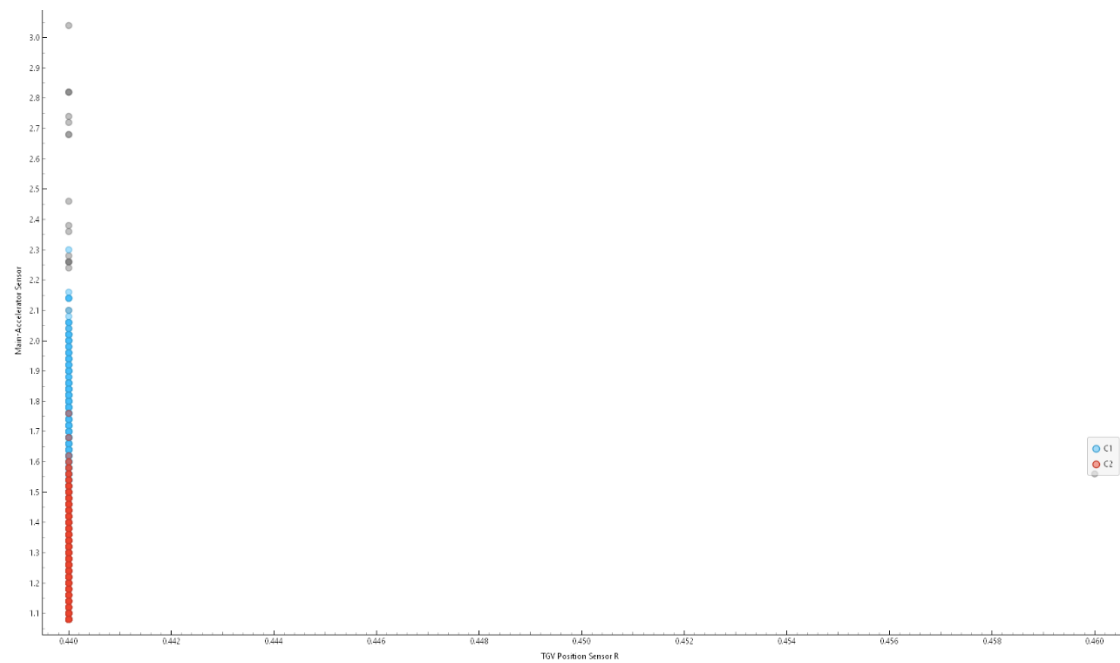
89 TGV Position Sensor R_OCV Duty L



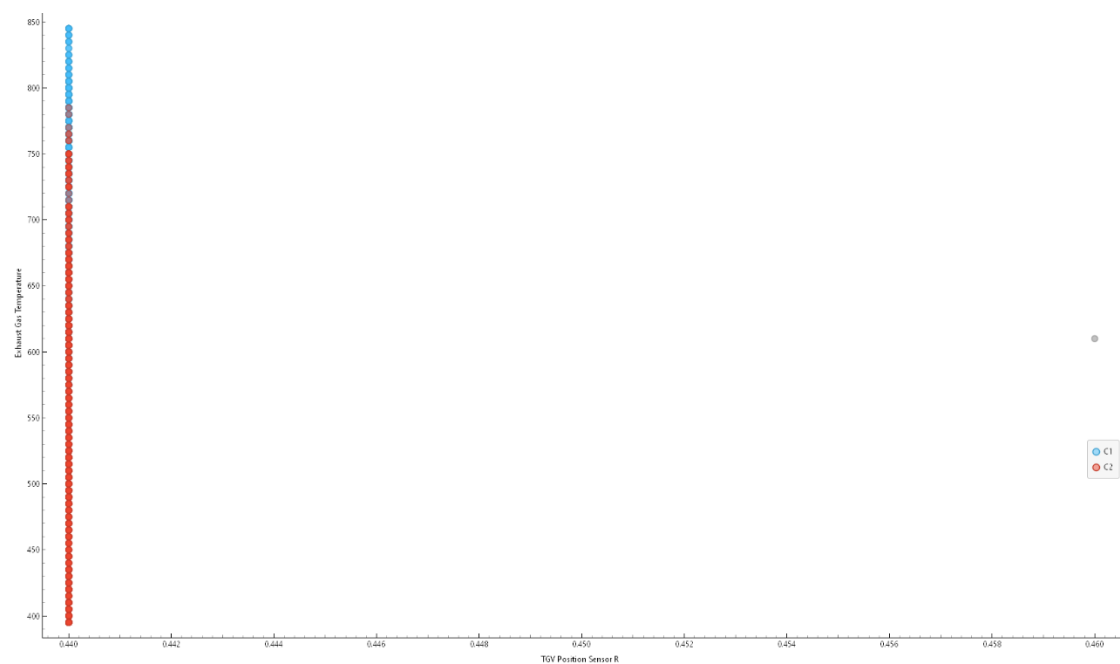
90 TGV Position Sensor R_A/F Correction #3



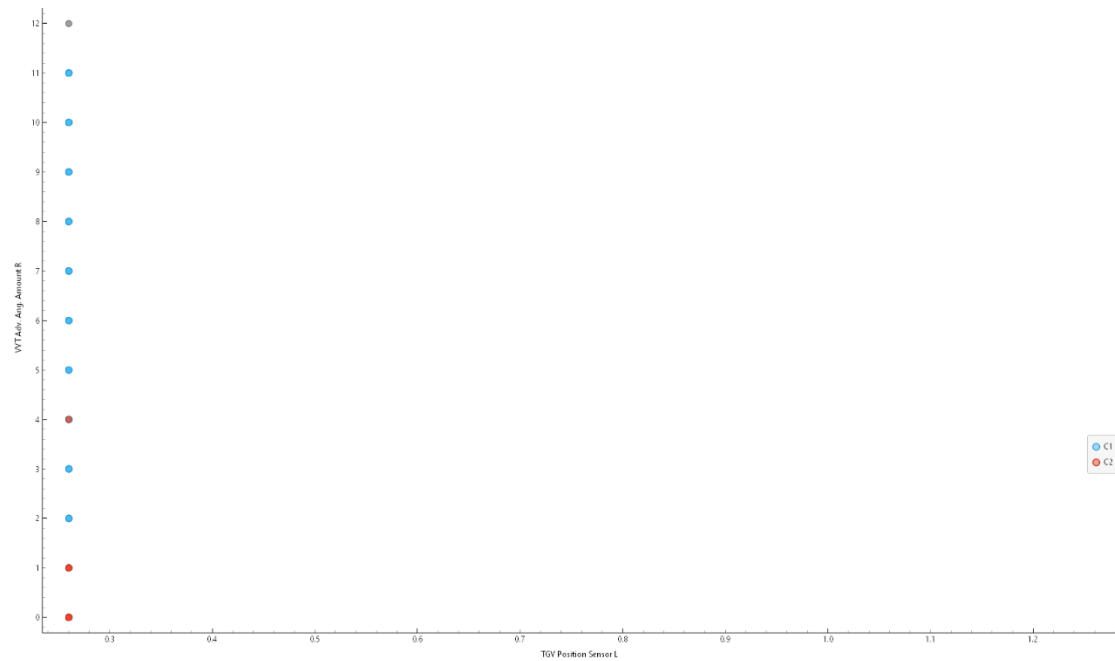
91 TGV Position Sensor R_Main-Accelerator Sensor



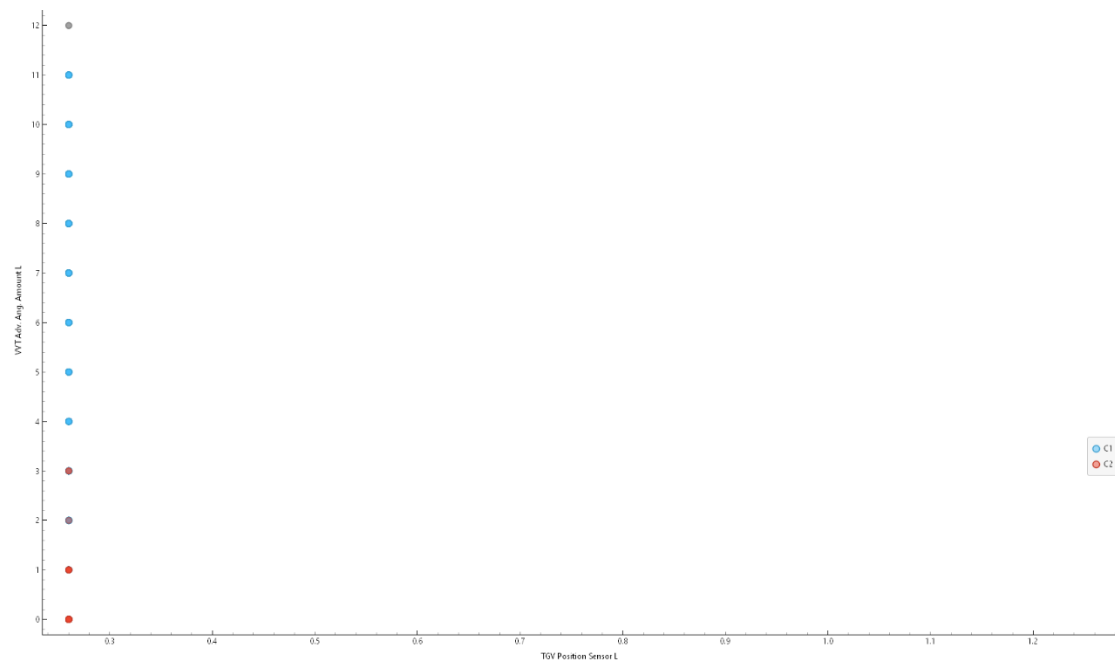
92 TGV Position Sensor R_Exhaust Gas Temperature



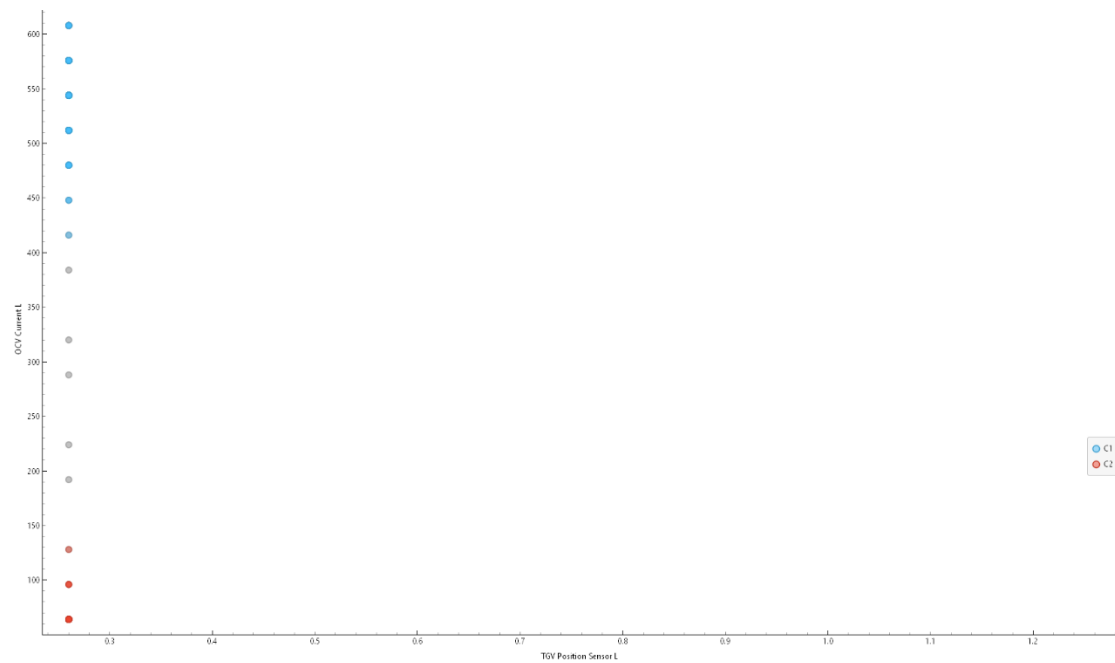
93 TGV Position Sensor L_VVT Adv. Ang. Amount R



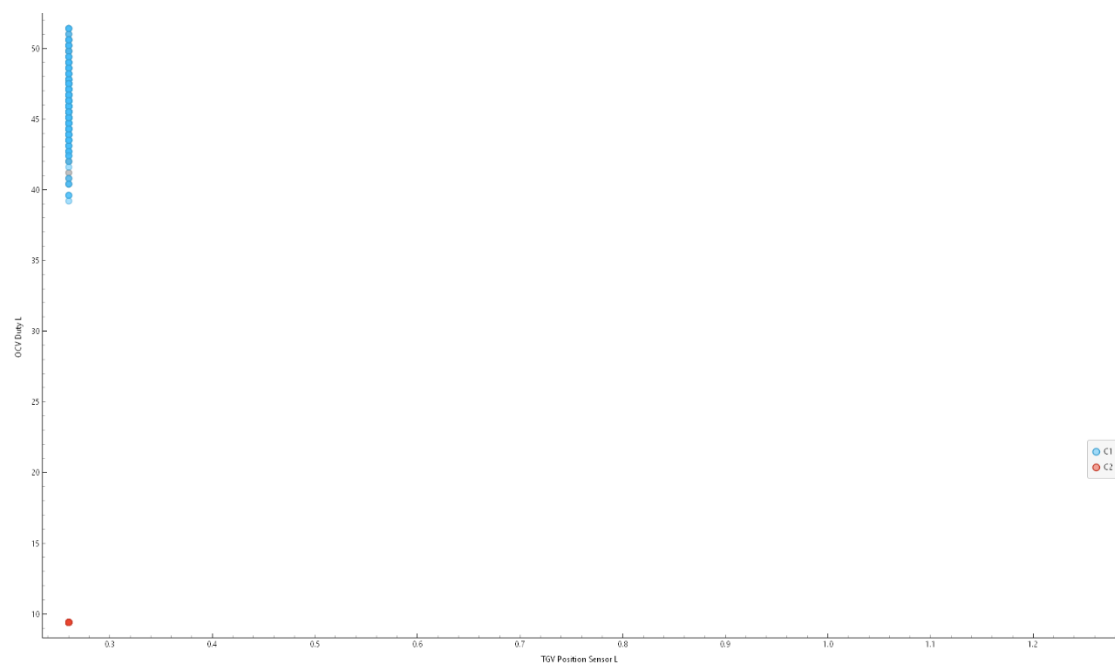
94 TGV Position Sensor L_VVT Adv. Ang. Amount L



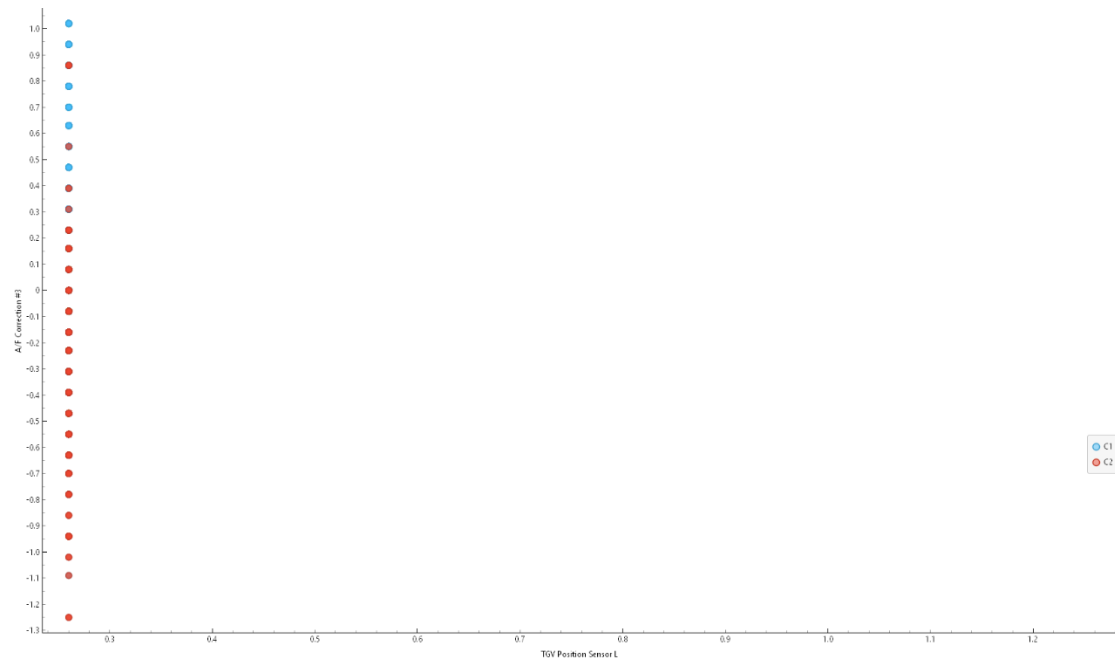
95 TGV Position Sensor L_OCV Current L



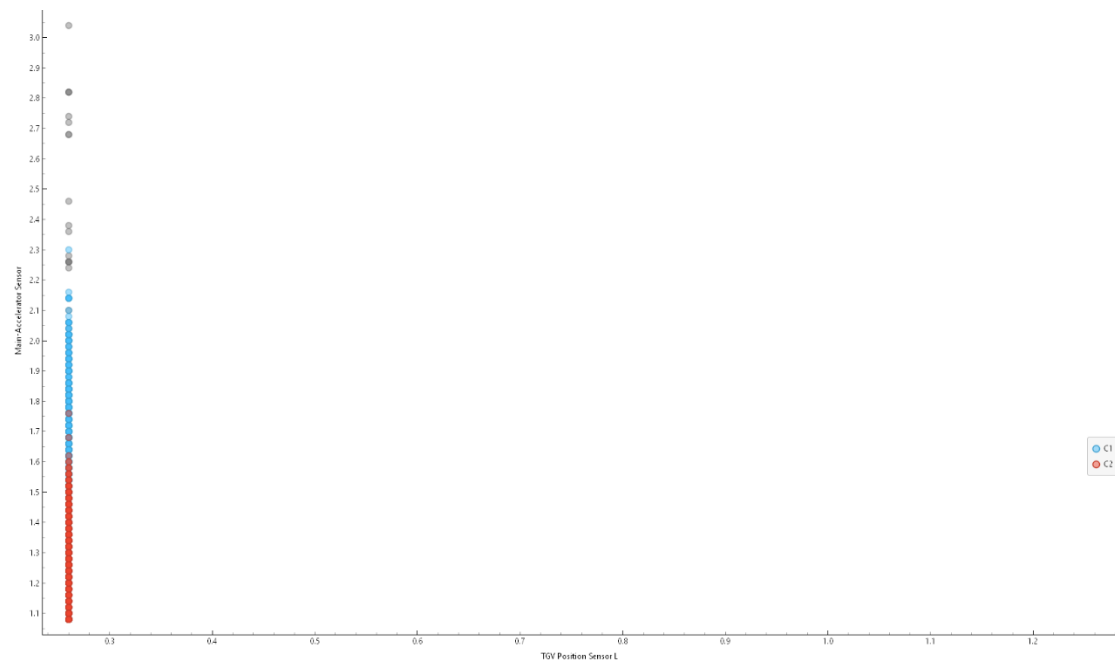
96 TGV Position Sensor L_OCV Duty L



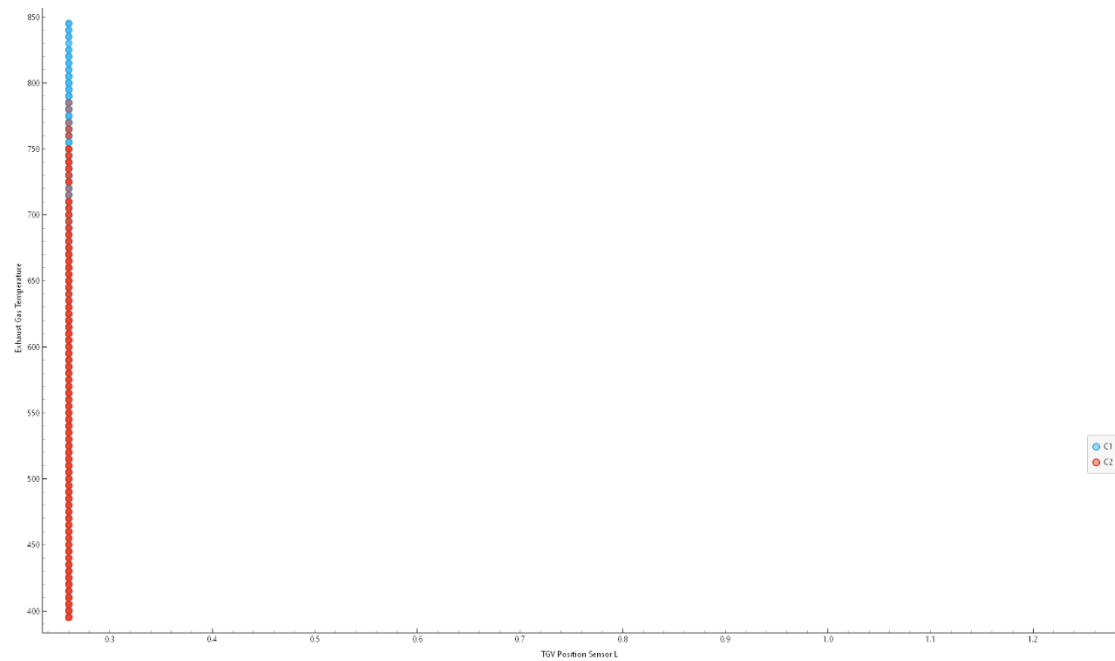
97 TGV Position Sensor L_A/F Correction #3



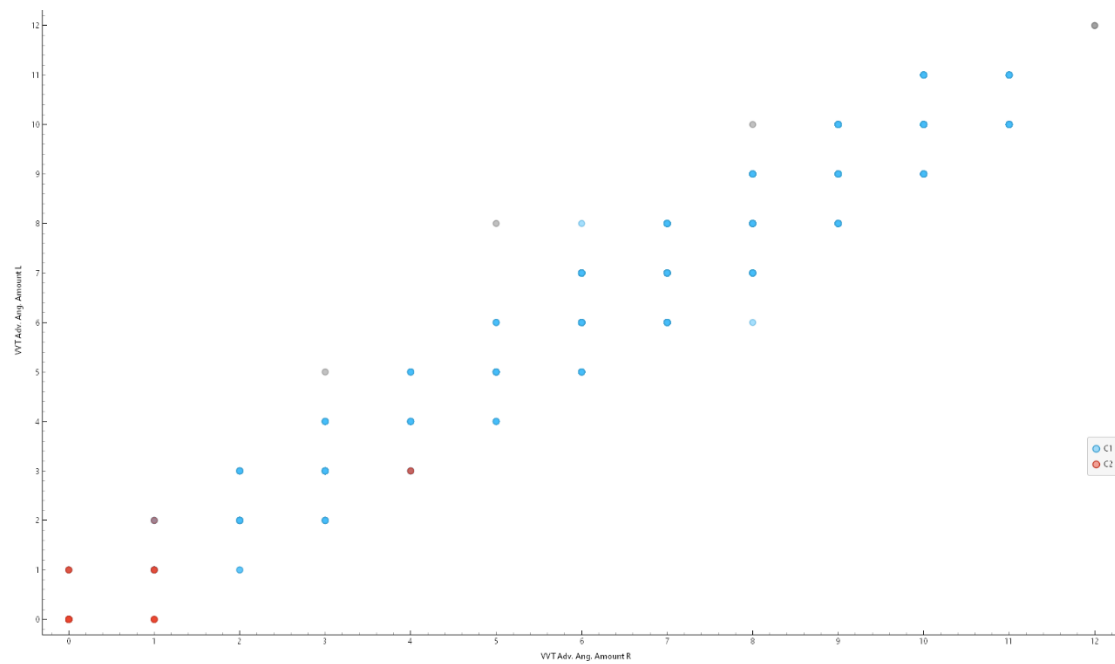
98 TGV Position Sensor L_Main-Accelerator Sensor



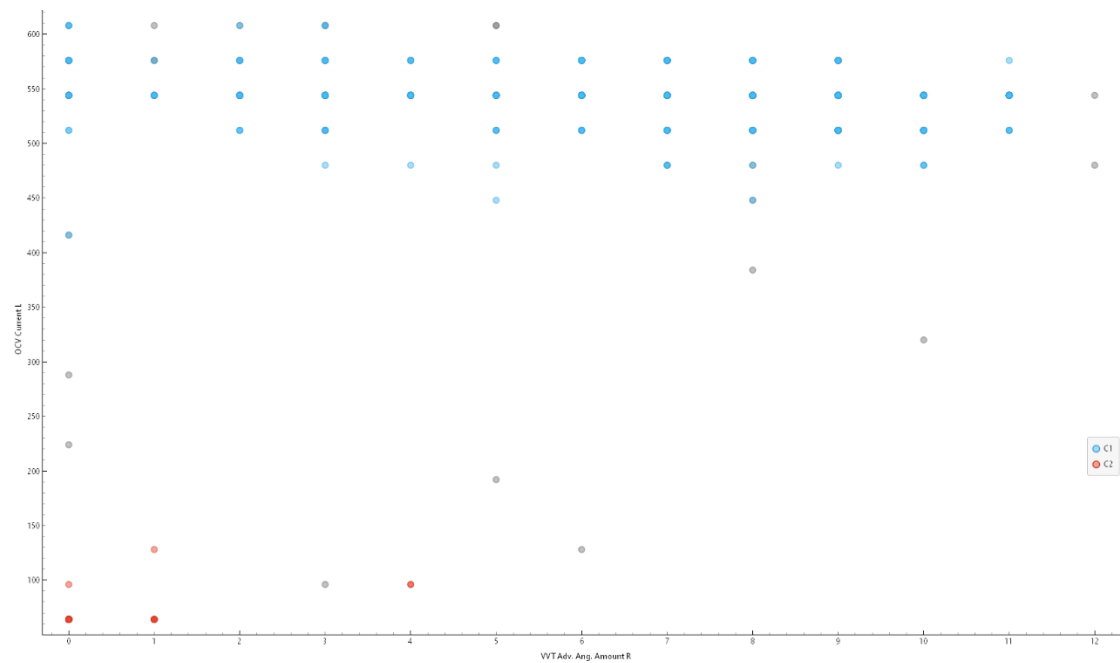
99 TGV Position Sensor L_Exhaust Gas Temperature



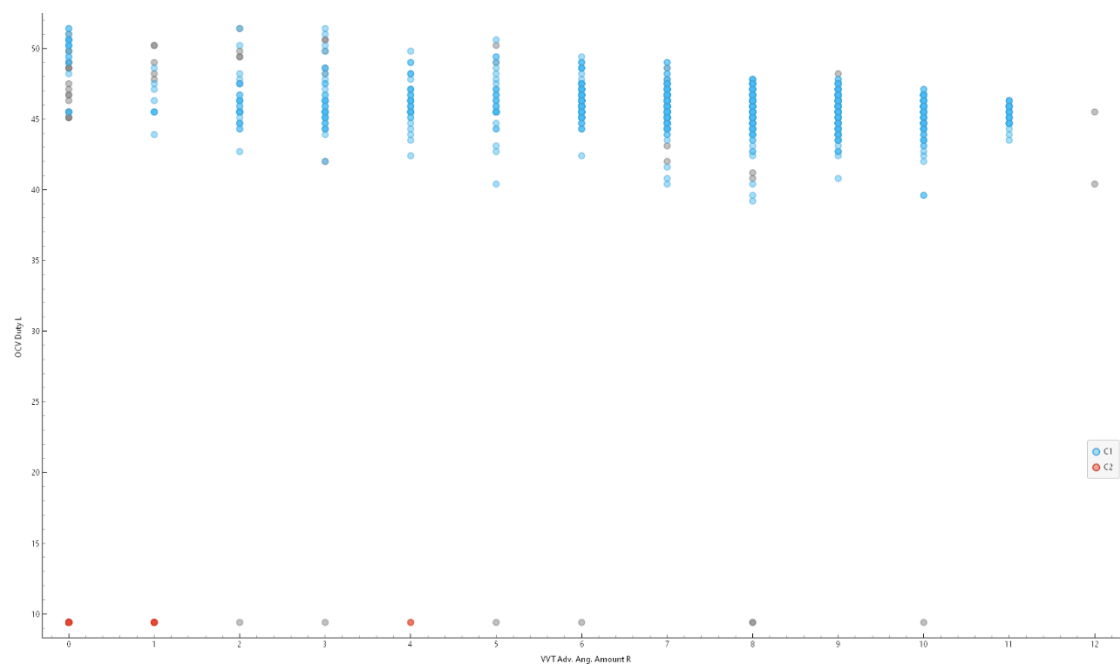
100 VVT Adv. Ang. Amount R_VVT Adv. Ang. Amount L



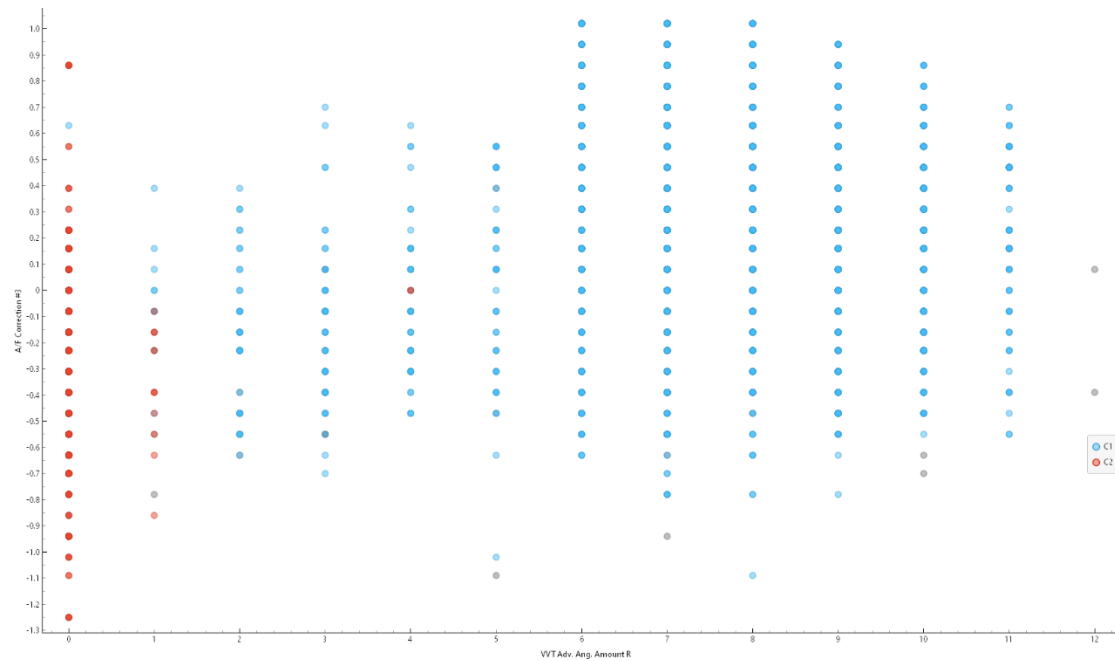
101 VVT Adv. Ang. Amount R_OCV Current L



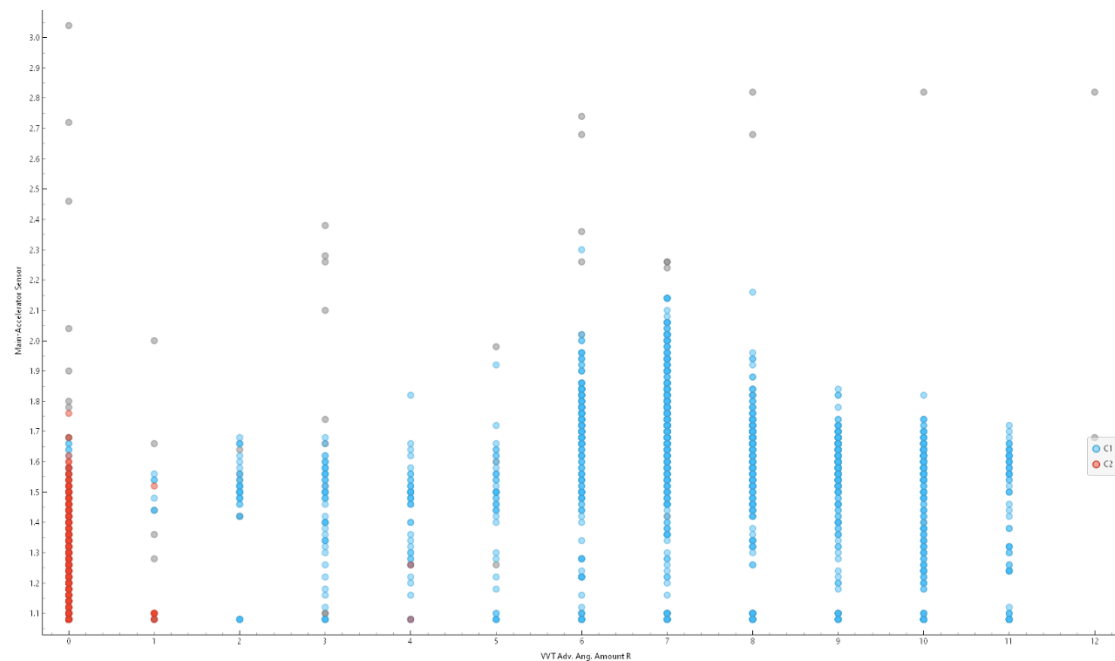
102 VVT Adv. Ang. Amount R_OCV Duty L



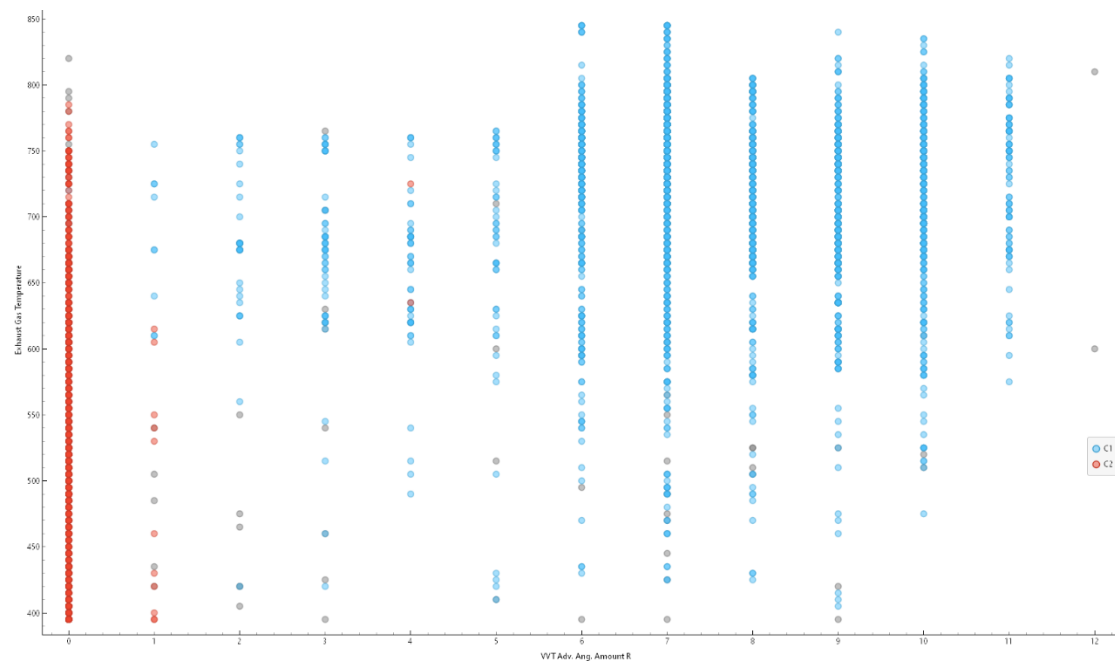
103 VVT Adv. Ang. Amount R_A/F Correction #3



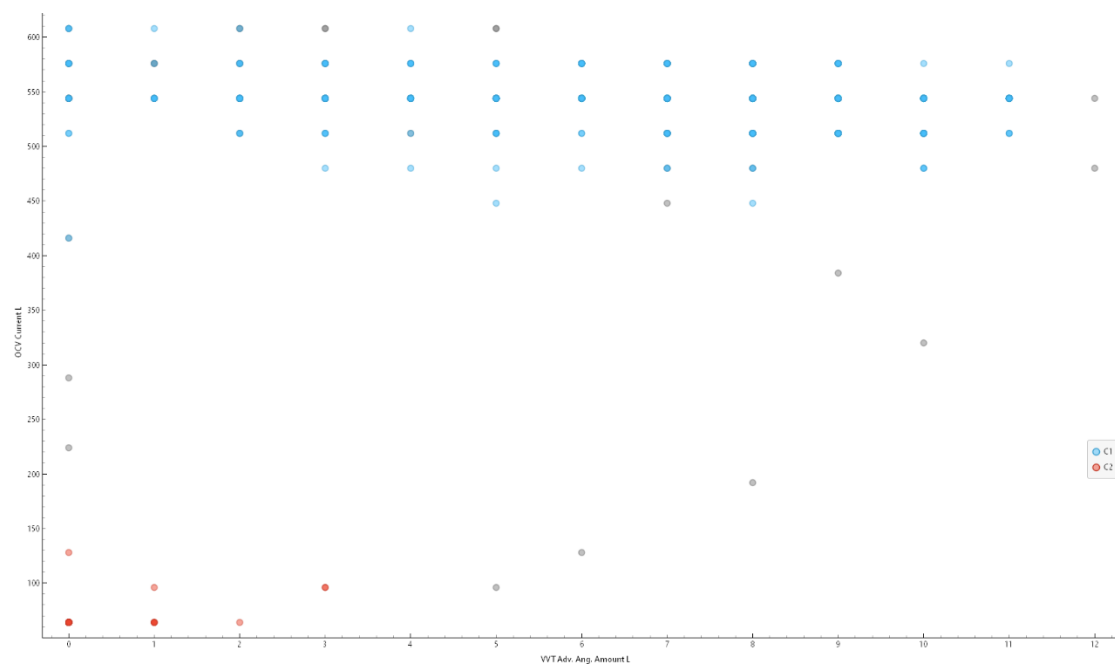
104 VVT Adv. Ang. Amount R_Main-Accelerator Sensor



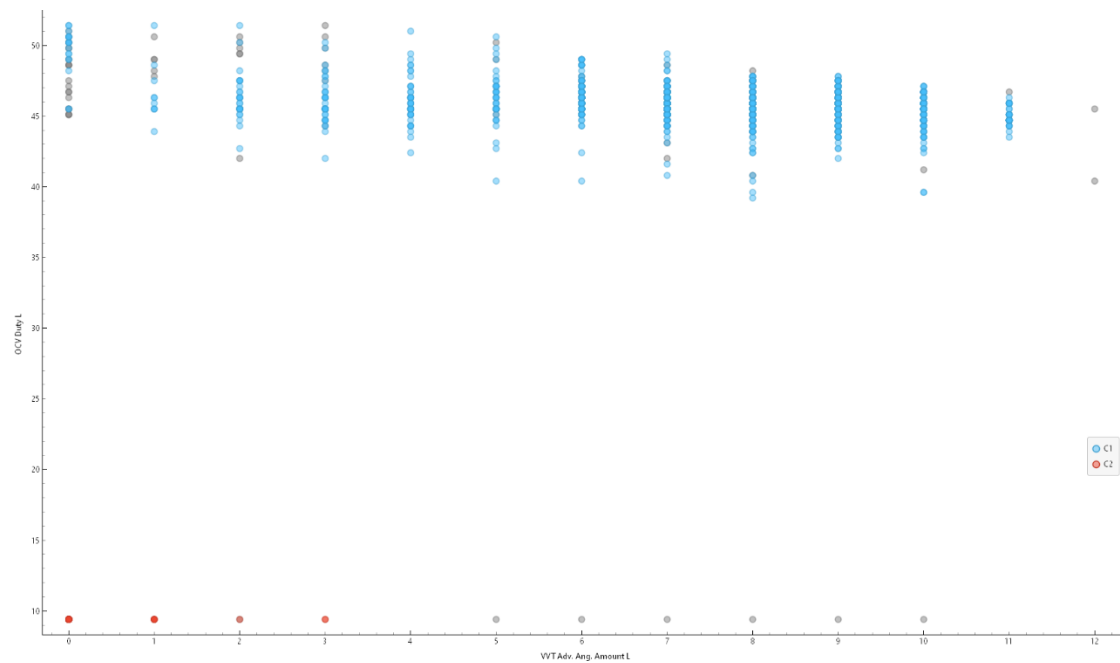
105 VVT Adv. Ang. Amount R_Exhaust Gas Temperature



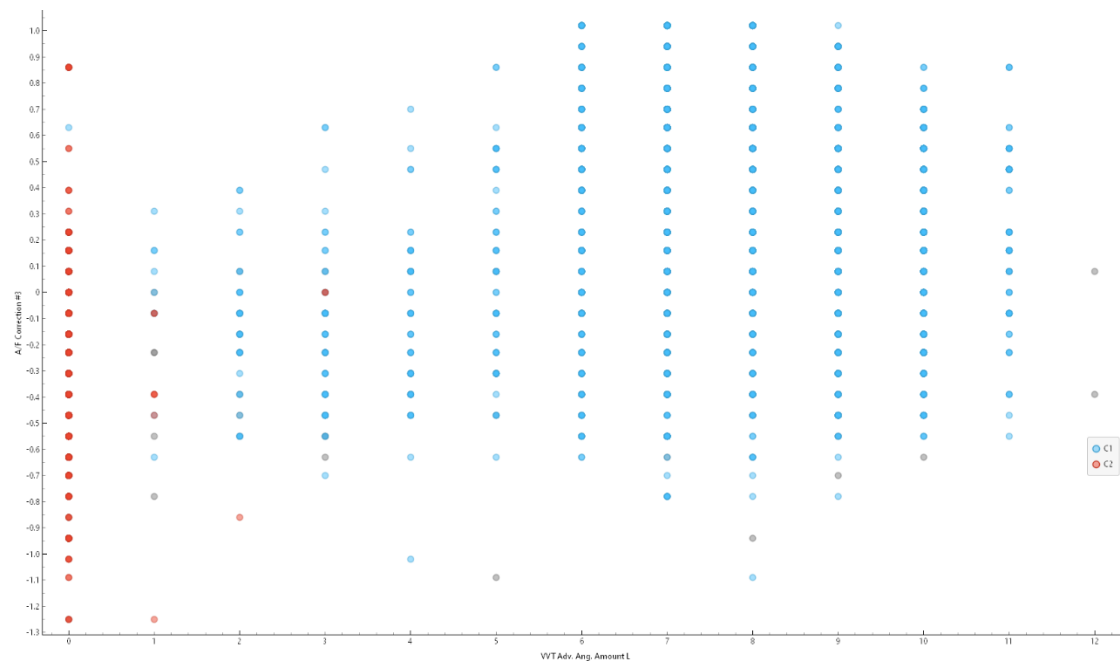
106 VVT Adv. Ang. Amount L_OCV Current L



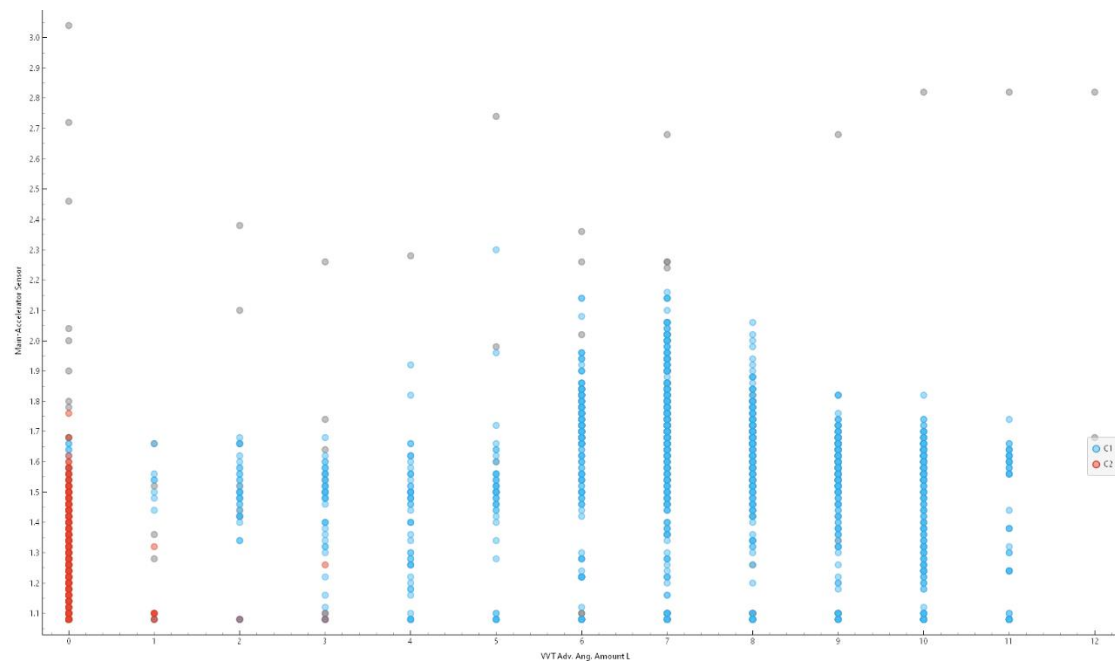
107 VVT Adv. Ang. Amount L_OCV Duty L



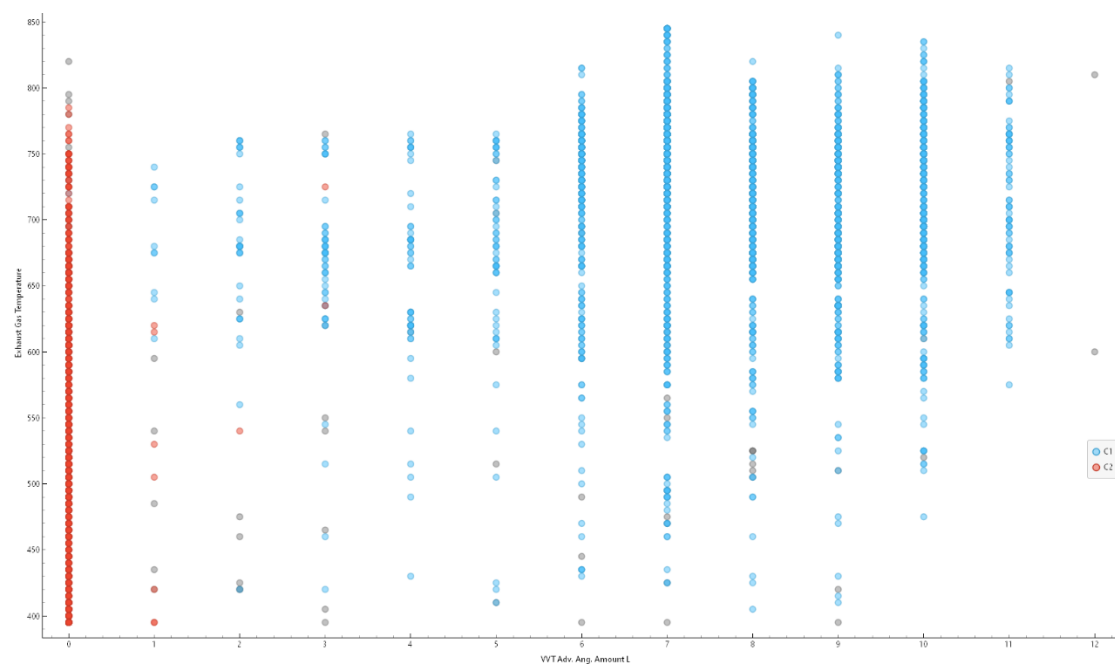
108 VVT Adv. Ang. Amount L_A/F Correction #3



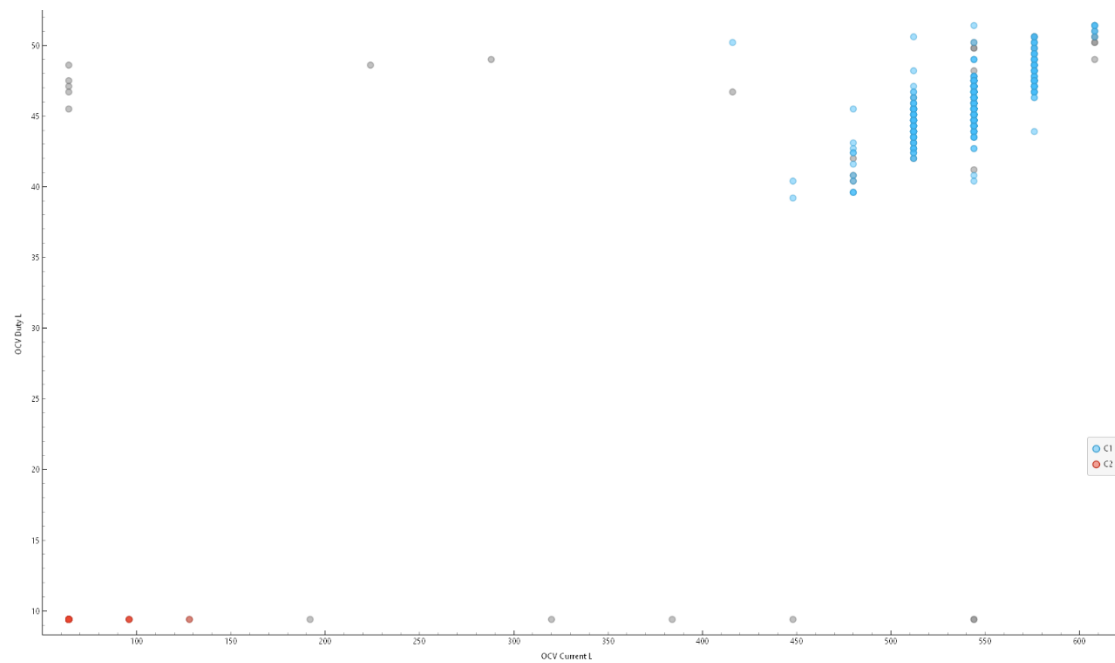
109 VVT Adv. Ang. Amount L_Main-Accelerator Sensor



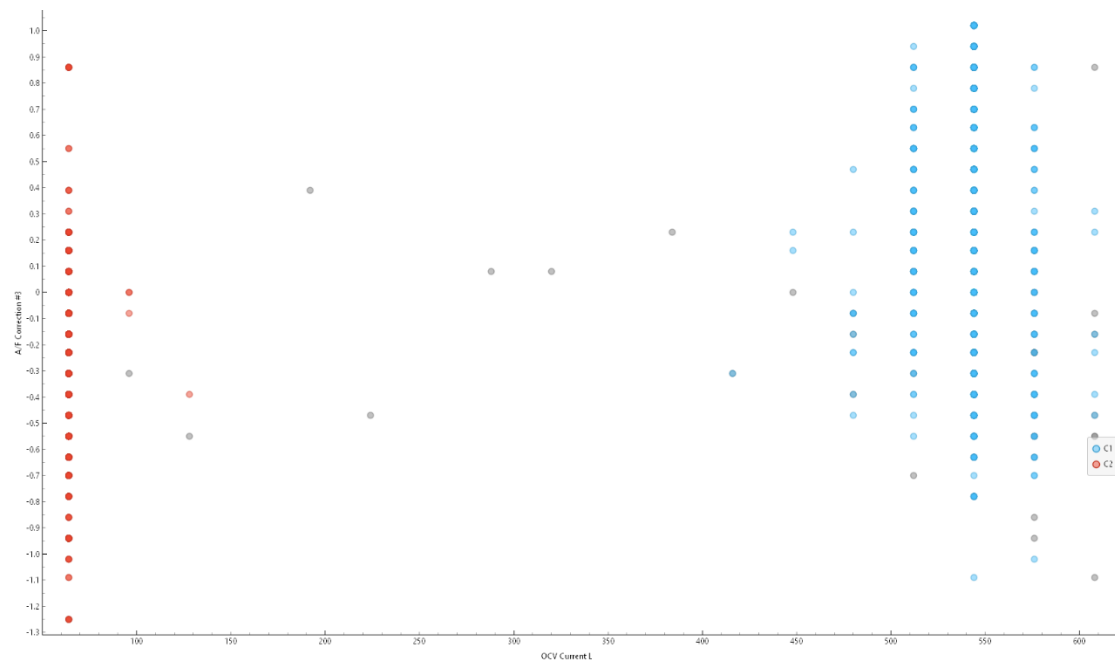
110 VVT Adv. Ang. Amount L_Exhaust Gas Temperature



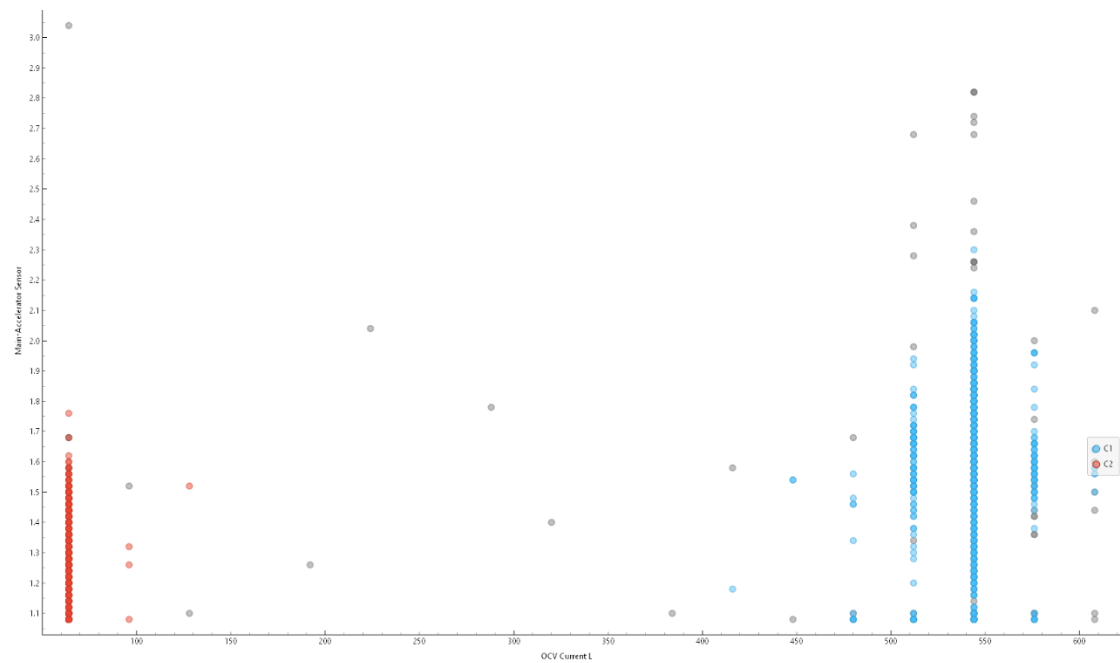
111 OCV Current L_OCV Duty L



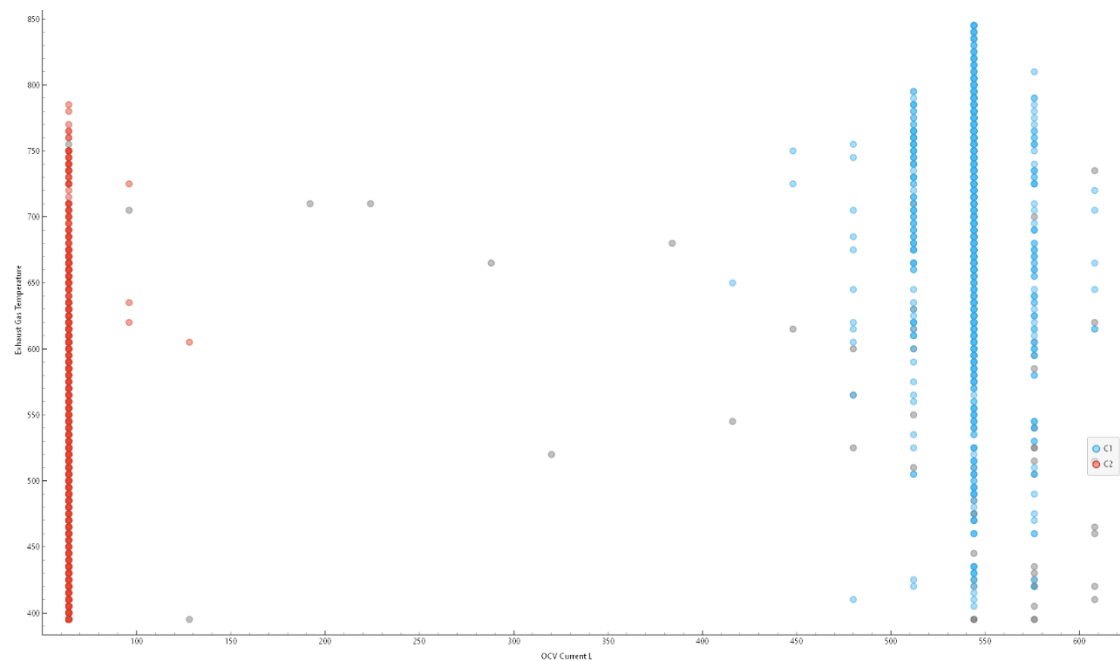
112 OCV Current L_A/F Correction #3



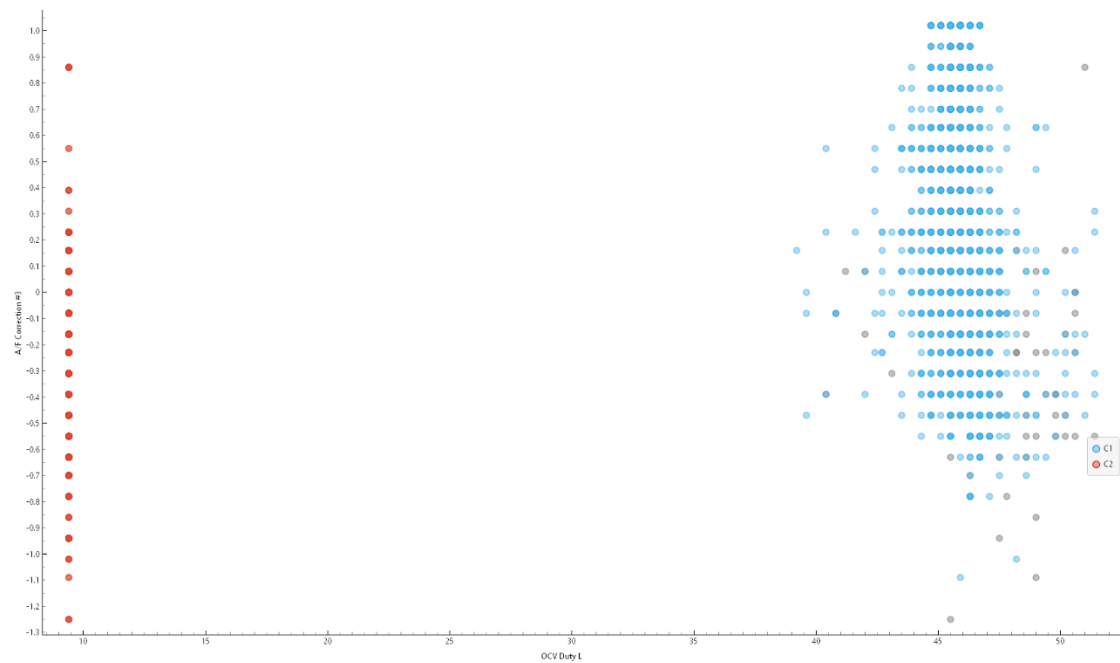
113 OCV Current L_Main-Accelerator Sensor



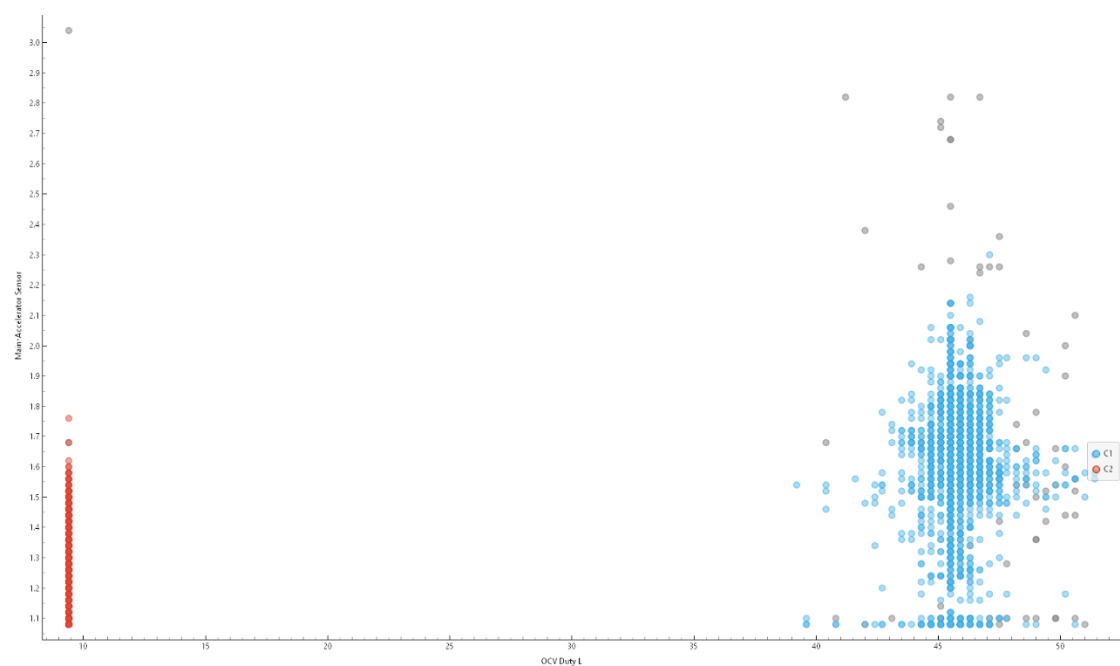
114 OCV Current L_Exhaust Gas Temperature



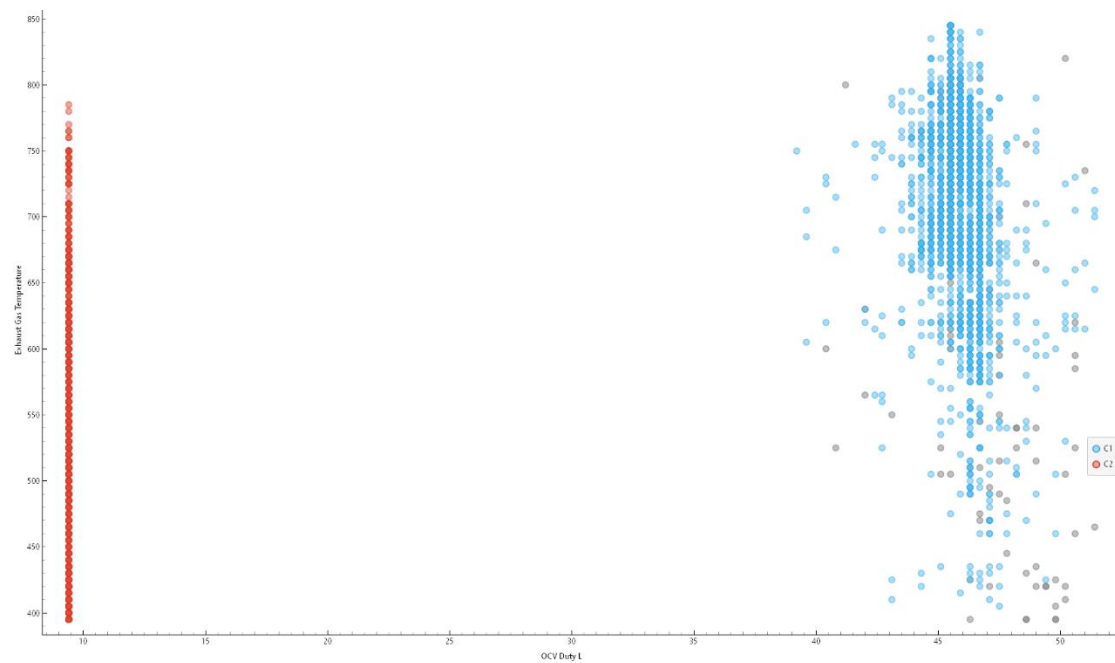
115 OCV Duty L_A/F Correction #3



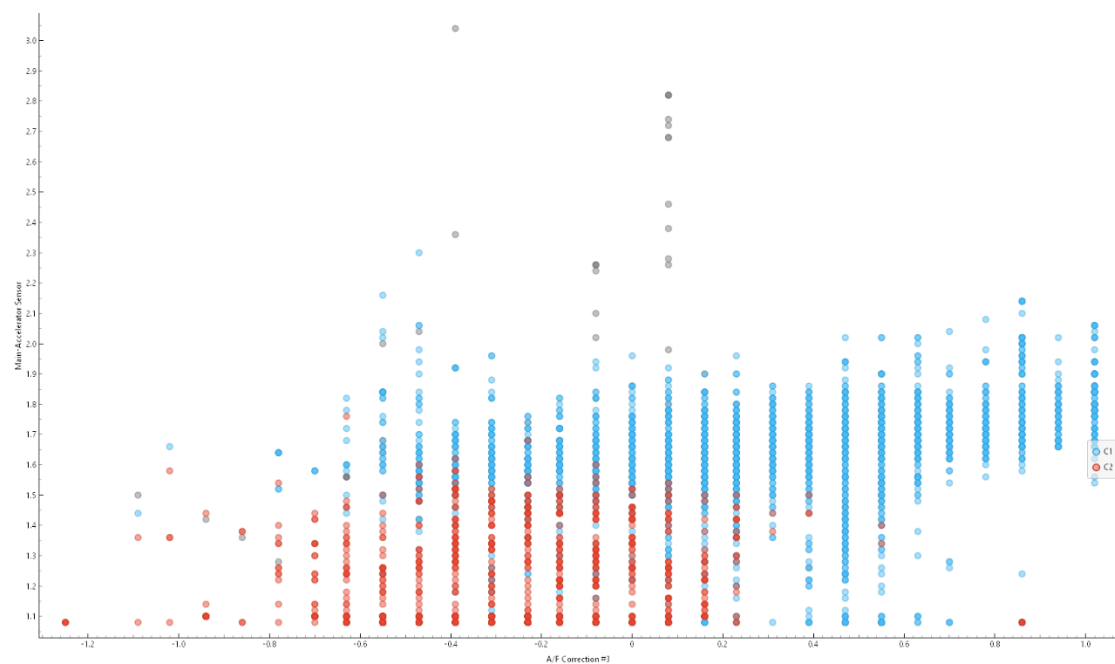
116 OCV Duty L_Main-Accelerator Sensor



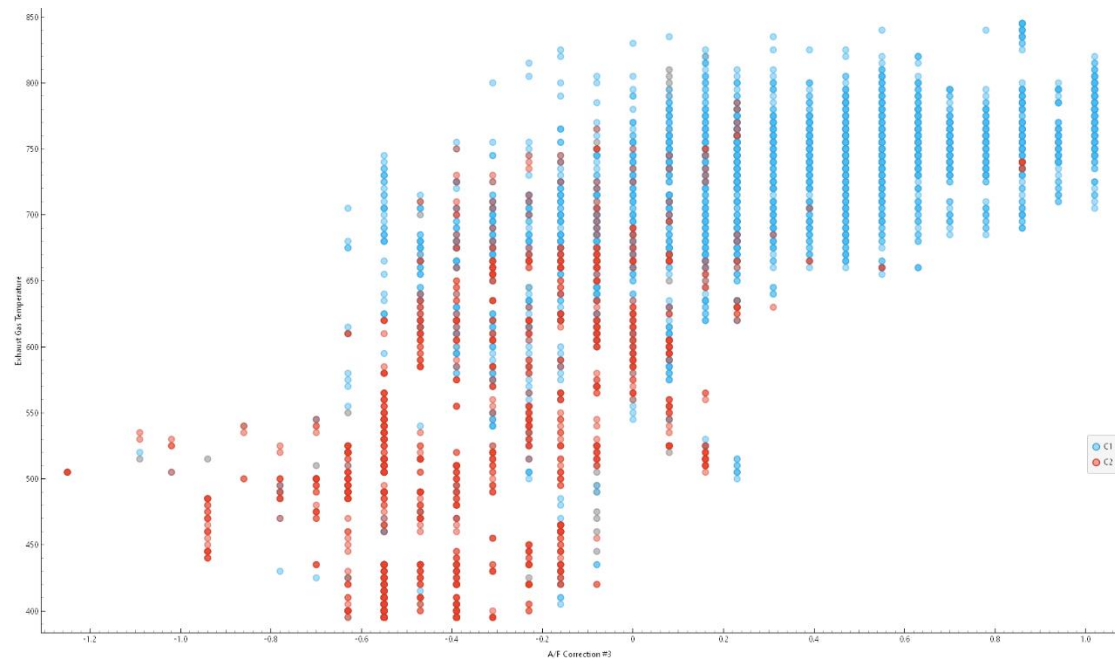
117 OCV Duty L_Exhaust Gas Temperature



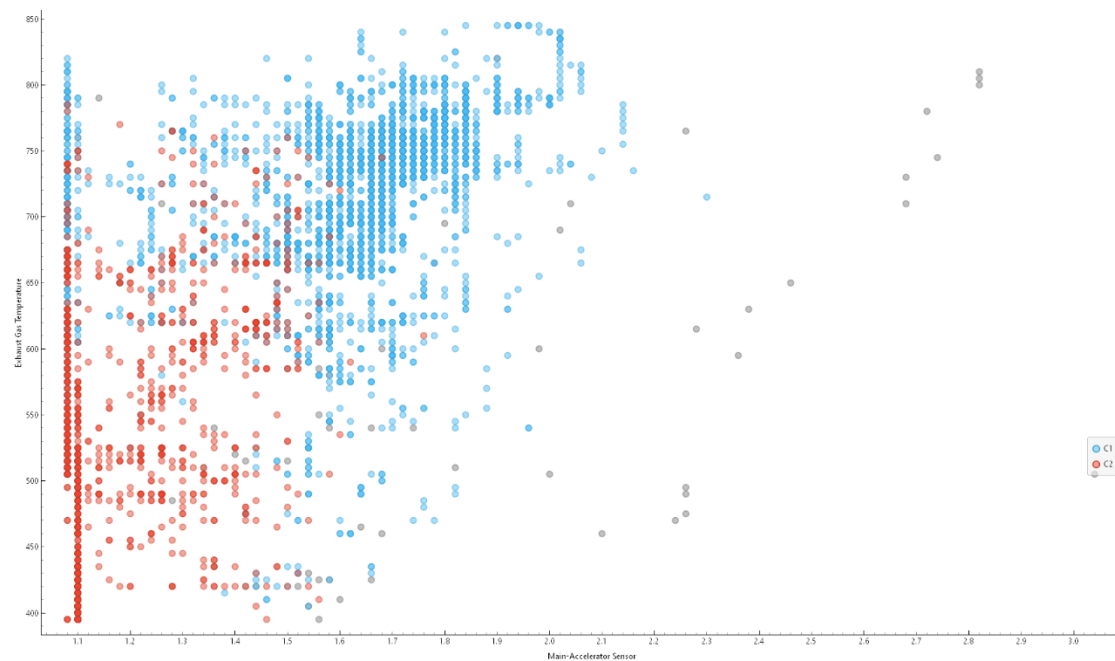
118 A/F Correction #3_Main-Accelerator Sensor



119 A/F Correction #3_Exhaust Gas Temperature

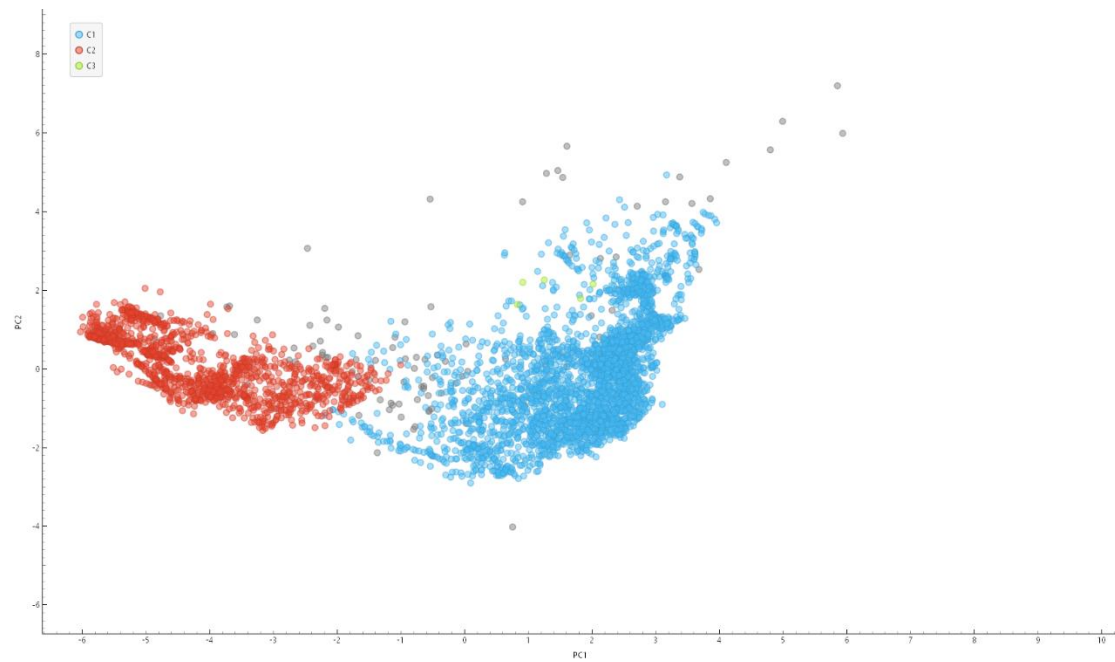
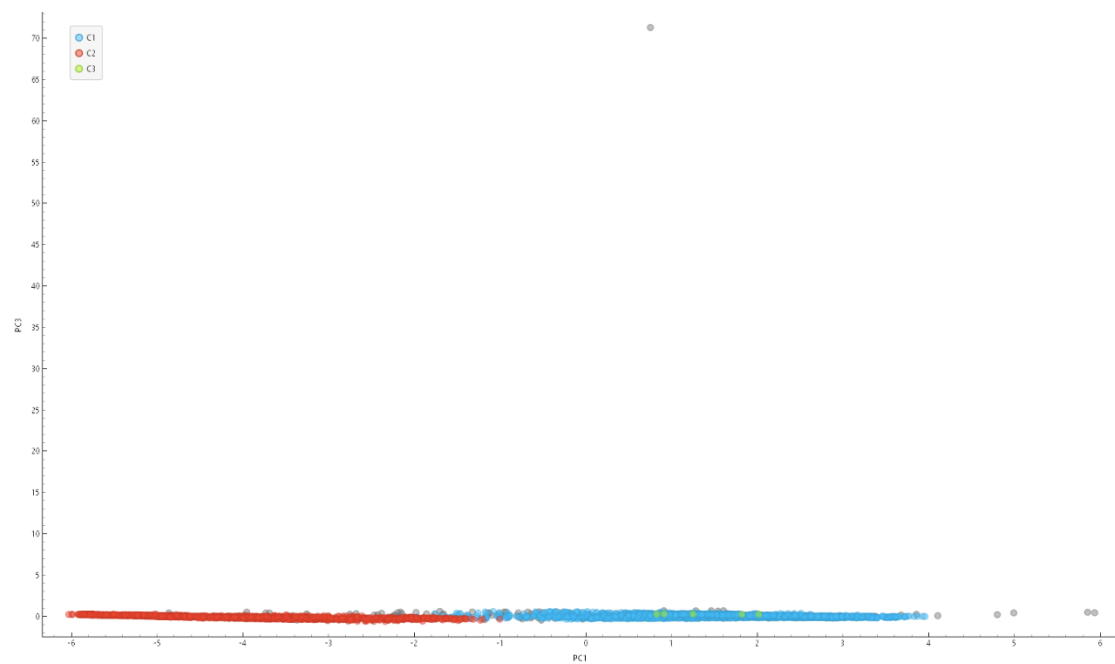


120 Main-Accelerator Sensor_Exhaust Gas Temperature

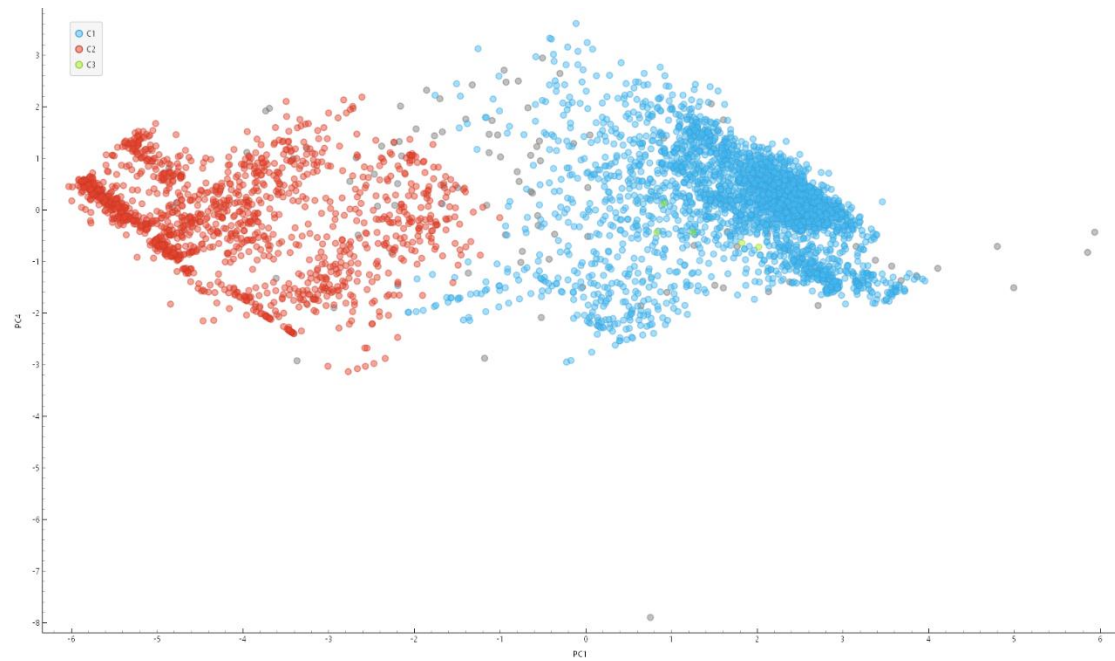


DBSCAN

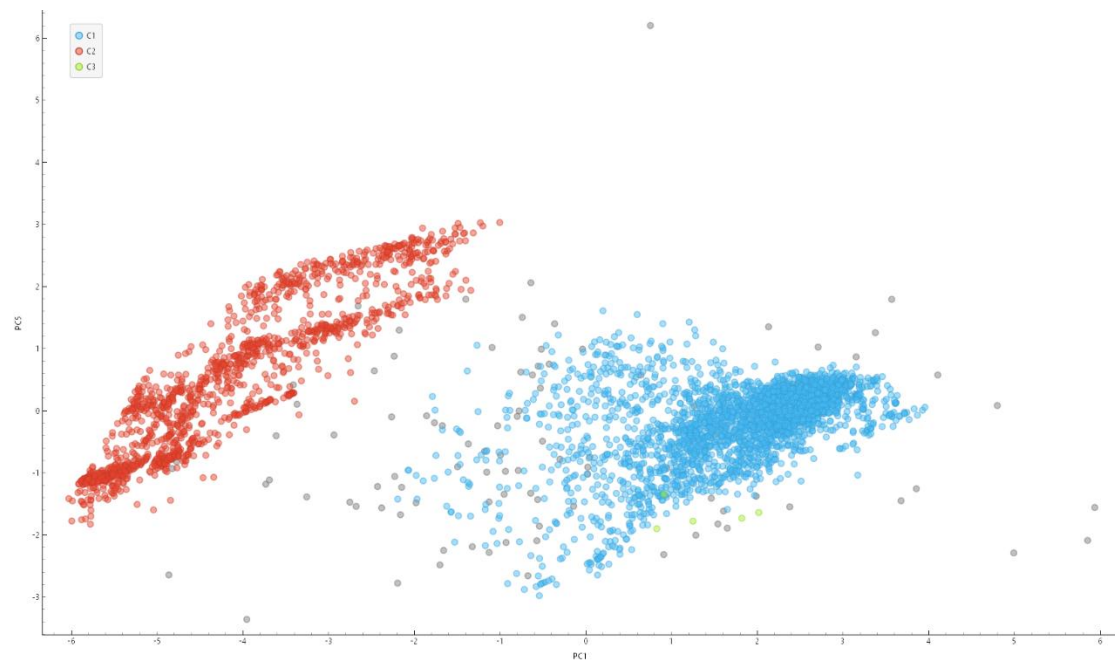
Ακολουθούν τα διαγράμματα τύπου Scatter από τον αλγόριθμο DBSCAN αφού προηγηθεί μείωση των διαστάσεων με τη χρήση του αλγορίθμου PCA. Οι 10 μοναδικοί συνδυασμοί στο είναι:

1. (PC1, PC2)**2. (PC1, PC3)**

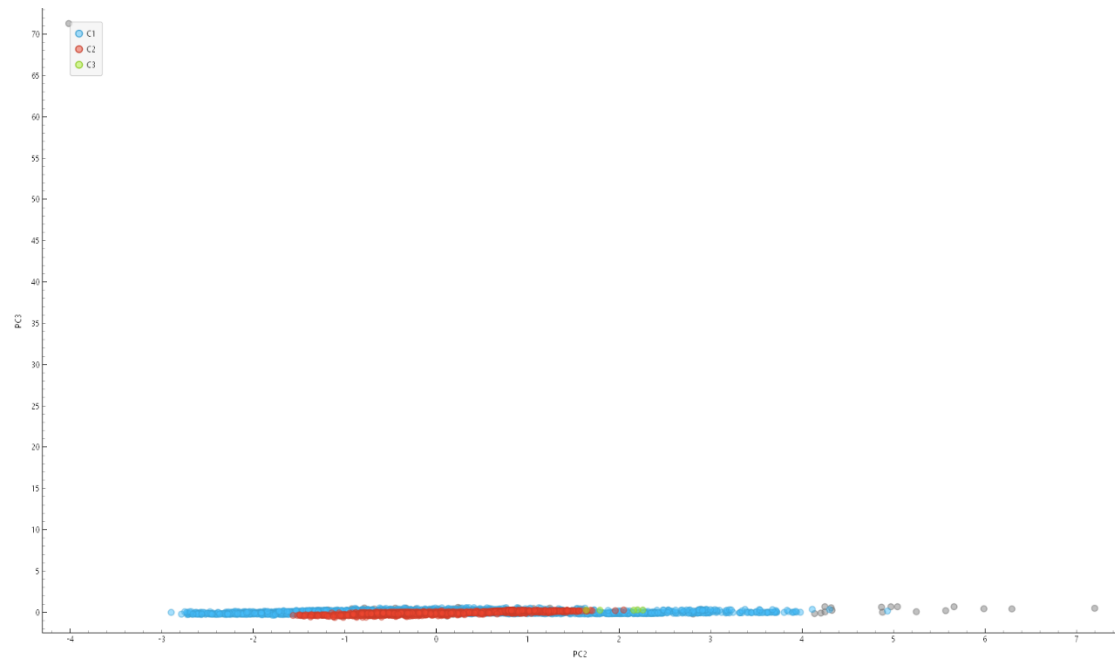
3. (PC1, PC4)



4. (PC1, PC5)



5. (PC2, PC3)



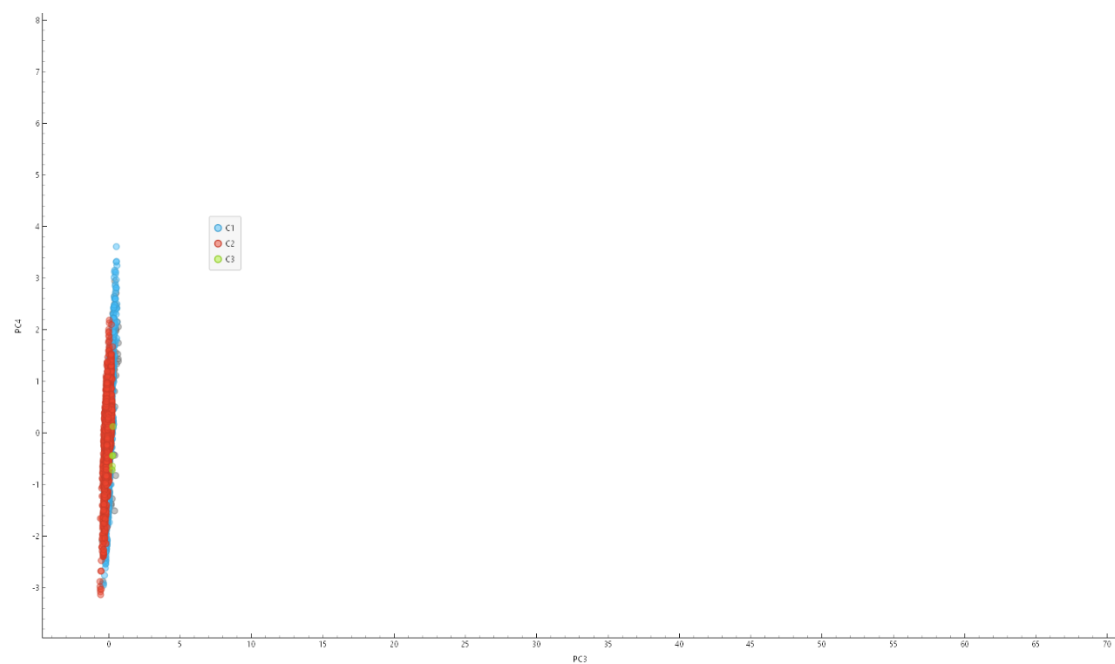
6. (PC2, PC4)



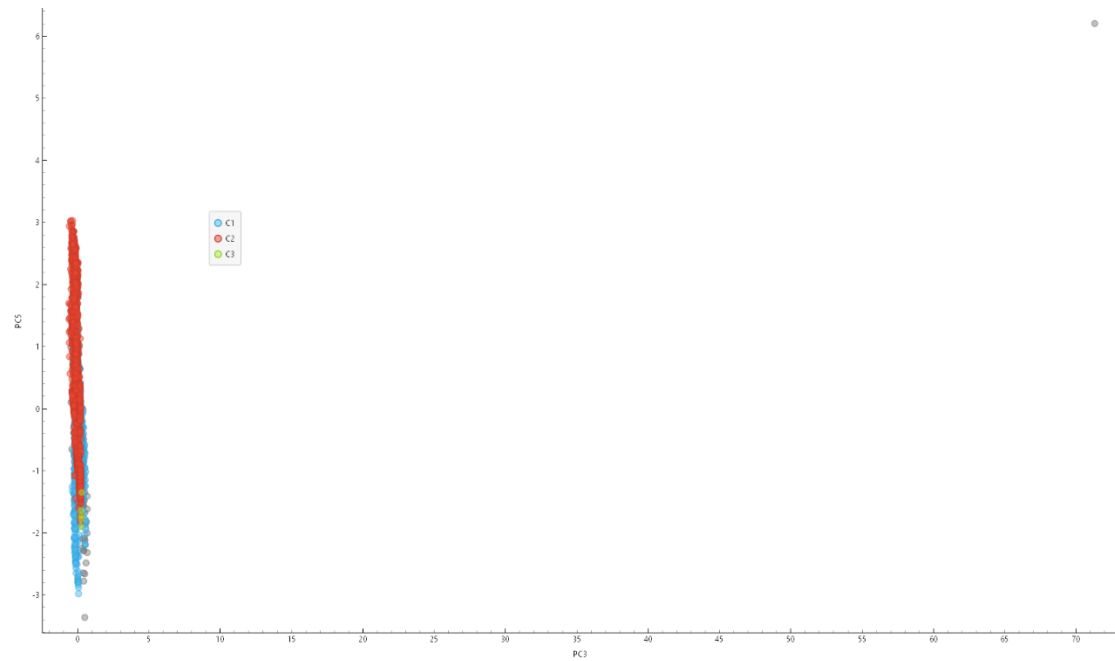
7. (PC2, PC5)



8. (PC3, PC4)



9. (PC3, PC5)



10. (PC4, PC5)

