

Consultez les discussions, les statistiques et les profils des auteurs de cette publication sur <https://www.researchgate.net/publication/332353350>

# UNE ÉTUDE SUR L'EFFET DU CHAMP MAGNÉTIQUE SUR LES PROPRIÉTÉS ET LA COMBUSTION DES CARBURANTS HYDROCARBURES

Article dans Revue internationale de génie mécanique et des matériaux · Avril 2019

CITATIONS

2

LIT

3 449

1 auteur :



Libin P. Oommen

Collège d'ingénierie Providence

16 PUBLICATIONS 31 CITATIONS

VOIR LE PROFIL

Certains des auteurs de cette publication travaillent également sur ces projets connexes :



Etude de la combustion assistée par champ magnétique des combustibles hydrocarbures [Voir le projet](#)



Analyse exergétique des fours rotatifs en cimenterie [Voir le projet](#)

## UNE ETUDE SUR L'EFFET DU CHAMP MAGNETIQUE SUR LES PROPRIETES ET COMBUSTION DES CARBURANTS HYDROCARBURES

LIBIN P. OOMMEN & KUMAR. G. N

*Institut national de technologie du Karnataka, Surathkal, Karnataka, Inde*

### ABSTRAIT

*Des chercheurs du monde entier s'efforcent de trouver des solutions possibles aux problèmes d'accélération l'épuisement des combustibles fossiles et l'éternel problème de pollution associé à la combustion de ces combustibles. Vers la fin du XXe siècle, l'effet des champs magnétiques puissants sur la structure moléculaire et son potentiel à modifier les propriétés au niveau moléculaire ont été découverts. Un certain nombre de chercheurs ont concentré leur attention sur ce sujet et ont obtenu des résultats appréciables concernant les caractéristiques de performance et d'émission d'échappement des carburants à base d'hydrocarbures conditionnés magnétiquement. Dans cet article, un examen complet a été effectué sur l'effet que les champs magnétiques créent sur la structure et les propriétés des hydrocarbures, et l'effet qu'il produit sur les caractéristiques de combustion et d'émission des hydrocarbures conditionnés magnétiquement.*

**MOTS CLÉS :** *Combustibles fossiles, Combustibles hydrocarbures, Combustion & Emission*

**Reçu :** 20 février 2019; **Accepté :** 12 mars 2019; **Publié :** 11 avr. 2019; **Identifiant papier :** IJMPERDJUN20199

### INTRODUCTION

Le monde fait face à une grave pénurie d'énergie provenant des combustibles fossiles. La dépendance à l'égard des combustibles fossiles et la pression sur les sources d'énergie non renouvelables existantes sont si élevées qu'elles s'épuiseront dans l'AEN. Les besoins énergétiques des êtres humains se sont considérablement accrus, en raison de la croissance exponentielle de la population et de l'écart entre l'offre et la demande de l'énergie augmente à un rythme alarmant.

Un autre problème mondial transfrontalier associé aux combustibles fossiles est la pollution environnementale sans cesse de croissante. Les statistiques montrent qu'il y a eu une augmentation de 50 % des émissions mondiales annuelles de carburants fossiles période de 20 ans allant de 1990 à 2010. Les polluants émis lors de la combustion de combustibles fossiles en CO, CO<sub>2</sub>, Oxydes d'azote, Oxydes de soufre, UBHC, plomb et particules en suspension. Ces polluants ont des effets néfastes sur les composantes vivantes et non vivantes de l'écosystème.

L'épuisement anticipé des combustibles fossiles dans un avenir proche et les effets néfastes des émissions de polluants ont amené les chercheurs du monde entier à réfléchir à différentes méthodes de conditionnement des combustibles, afin d'augmenter leur efficacité de combustion et de réduire les polluants qui en résultent. L'une de ces méthodes est le magnétiquement conditionnement des carburants.

### THÉORIE DU CONDITIONNEMENT DE CARBURANT MAGNÉTIQUE

Tout carburant hydrocarboné est un composé de molécules. Ces molécules sont constituées d'un certain nombre d'atomes elle-même constituée de noyau et d'électrons. Ainsi, il est tout à fait clair qu'il existe à la fois une électricité positive et négative dans les molécules. Ces molécules dans leur état naturel forment un cluster en leur sein, et ne seront pas affectés par les champs magnétiques.

s'imbriquent avec les molécules d'oxygène lors de la combustion. Les hydrocarbures peuvent être polarisés par l'exposition à des champs magnétiques externes. L'effet d'un tel magnétisme est la création d'un moment provoqué par le mouvement des électrons externes de la chaîne d'hydrocarbures, déplaçant les électrons dans des états de nombre quantique principal supérieur. Cet état décompose efficacement les électrons à valence fixe qui participent au processus de liaison des composés combustibles. Les hydrocarbures deviennent directionnels et alignent le moment magnétique conduit dans une relation dipolaire en lui-même. Lors de l'application d'un champ magnétique, les molécules d'hydrocarbures d'un carburant sont ionisées et réalignées, ce qui entraîne l'affaiblissement des liaisons de Vander Vaal suivi du dégroupage des clusters d'hydrocarbures existants. Ensuite,

Dans le processus de combustion d'un hydrocarbure, c'est l'enveloppe externe de l'hydrogène qui est brûlée en premier. L'hydrogène existe sous deux formes distinctes : ortho hydrogène et para hydrogène. Les variantes ortho et para de l'hydrogène diffèrent par l'orientation relative du spin nucléaire des deux protons. Dans l'état para, le spin des protons est anti-parallèle, alors que dans la molécule ortho, le spin est parallèle. Cette orientation de spin a un effet prononcé sur le comportement de la molécule. L'hydrogène ortho se révèle instable et plus réactif que l'état para. Les molécules de carburant seront normalement à l'état para avec des spins opposés, s'attirant les unes vers les autres, formant des grappes. Lorsque le carburant est mélangé avec de l'air dans des conditions particulières, toutes les molécules du carburant peuvent ne pas se combiner avec les molécules d'oxygène de l'air pour la combustion, et par conséquent, certaines des molécules de carburant s'échappent dans l'atmosphère sous forme de gaz non brûlé. Lorsque le traitement magnétique est effectué, les molécules qui se trouvent normalement à l'état para sont orientées vers l'état ortho actif, affaiblissant ainsi la liaison entre les molécules de carburant.

La loi de Faraday stipule que lorsqu'un champ est introduit perpendiculairement à ce circuit, la force électromotrice agit sur l'électron, ce qui modifie la nature du mouvement des orbites atomiques. Par conséquent, un ion diamagnétique soumis au magnétisme présente une ionisation positive, qui à son tour aide les hydrocarbures à attirer et à se lier à l'oxygène chargé négativement.

Du point de vue thermodynamique, la consommation de combustible est totalement dépendante de son enthalpie de combustion. L'enthalpie d'une réaction peut être calculée en utilisant l'énergie de liaison des réactifs et des produits. Si le traitement magnétique est capable de modifier l'énergie de liaison des molécules d'hydrocarbures, le taux de consommation de carburant sera également modifié. Ainsi, la réduction de l'énergie de liaison affecte directement l'enthalpie et affecte par la suite le taux de consommation de carburant. L'affaiblissement de liaisons entre les molécules de carburant contribue également à la formation de davantage de liaisons avec les molécules d'oxygène, assurant une augmentation de l'efficacité de la combustion.

#### **EFFET DES CHAMPS MAGNÉTIQUES SUR LA STRUCTURE, LES PROPRIÉTÉS ET LE COMPORTEMENT DE LA FLAMME DES HYDROCARBURES**

Shoogo Ueno [1] a étudié l'effet des champs magnétiques sur la structure des flammes et des flux de gaz sous combustion utilisant du méthane, du propane et de l'hydrogène comme gaz d'essai. Il a observé que les formes des flammes étaient radicalement modifiées par le champ magnétique, indépendamment des gaz utilisés. On a également constaté que la vitesse de combustion augmentait proportionnellement au gradient du champ. Dans une autre étude [2], ils ont observé que les vitesses et les températures de combustion sont influencées par les champs magnétiques.

Guo et al.[3] ont proposé les effets du champ magnétique sur les propriétés physico-chimiques des individus hydrocarbures. Ils ont observé un changement fractionnaire de la viscosité du carburant hydrocarboné lors de l'application d'un champ magnétique. L'ampleur du changement de viscosité s'est avérée augmenter avec l'augmentation de la force du champ magnétique.

Plus le nombre de carbones des hydrocarbures paraffiniques normaux était élevé, plus le taux de diminution de la viscosité était observé. Leur étude a montré que la tension superficielle des hydrocarbures diminuait également légèrement lors de la magnétisation. Une flamme de diffusion non prémélangée de butane a été exposée à un champ magnétique à gradient négatif par Aoki [4] qui a entraîné l'augmentation des températures, la réduction des dimensions et une augmentation de la tendance au bleuissement de la flamme.

Wakayama [5] a observé qu'une réaction de combustion est initiée lorsqu'un gaz combustible est amené à circuler dans un champ magnétique à gradient descendant. Son enquête sur les flammes de diffusion de méthane a prouvé qu'un champ à gradient négatif augmentait les taux de combustion pour les flammes de diffusion alors que le champ avait peu d'effet sur les flammes prémélangées. Il a également suggéré qu'un champ magnétique à gradient pourrait contrôler une réaction chimique dans laquelle les susceptibilités magnétiques d'espèces individuelles sont impliquées. Baker et Varagani [6] ont examiné des flammes à fentes de diffusion laminaire sous des champs magnétiques non uniformes. Les flammes à fente ont été choisies pour l'étude en raison de la simplicité d'obtention d'un champ magnétique symétrique autour d'elles lors de la modélisation mathématique. Ils ont observé une diminution de la température maximale de la flamme avec l'application d'un champ magnétique décroissant vers le haut. Le potentiel d'un champ magnétique constant à modifier les conditions de propagation d'une onde de combustion a été étudié par Morozov et al. [sept]. Ils ont observé une augmentation de la vitesse de combustion de 30 % dans un champ magnétique de 0,27 T. Cette augmentation de la vitesse de combustion est attribuée au degré d'agglomération du système dans un champ magnétique. Une force électromotrice de combustion est développée du fait de l'ionisation des réactifs et des produits intermédiaires dans le front de combustion.

Un fort champ magnétique pulsé d'une durée appropriée a été appliqué dans l'étude de Tao [8], qui s'est avéré réduire la viscosité de l'essence et du diesel. La réduction de viscosité n'a duré que quelques heures et les valeurs de propriétés d'origine ont été retrouvées après un certain temps. Dans une autre étude, Tao & Xu [9] ont étudié la relation entre le champ magnétique appliqué et la viscosité d'un fluide MR et du pétrole brut, la durée optimale d'application du champ magnétique et la taille moyenne des amas de particules lorsque la durée du champ magnétique appliqué est augmentée. Il est évident que la particule de paraffine a une perméabilité magnétique différente de celle du solvant, ce qui a entraîné une réduction de la viscosité. L'effet d'un champ magnétique sur les propriétés structurales et rhéologiques des pétroles bruts avec diverses concentrations de résines, d'asphaltènes, et les hydrocarbures paraffiniques ont été examinés par Loskutova et al. [dix]. Il a été constaté que dans les huiles à haute viscosité, les caractéristiques telles que la viscosité, les propriétés antioxydantes et paramagnétiques sont affectées lorsqu'elles sont soumises à la magnétisation. Le temps de récupération complète des propriétés paramagnétiques et antioxydantes coïncide avec le temps de récupération des caractéristiques rhéologiques du pétrole.

Evdokimov & Kornishin [11] ont mené une étude critique pour réfuter la physique publiée précédemment de la réduction de la viscosité due au conditionnement magnétique du carburant. Ils ont conclu que la réduction de viscosité due au MFC se produit en raison de la désagrégation des colloïdes dans l'huile. L'effet d'une forte densité magnétique décroissante vers le bas sur une flamme de diffusion laminaire de méthane a été étudié par Legros et al. [12]. Un scintillement de flamme a été observé dans leur étude avec un flux magnétique à gradient descendant allant de 0,4 à 1,4 T/m. Ils ont également suggéré que la flottabilité et la contrainte de cisaillement pourraient être renforcées par la force magnétique, accélérant ainsi l'apparition de l'instabilité. Gillion et al. [13] Expériences menées sur un brûleur auquel le propane est délivré verticalement à travers une cavité cylindrique ouverte, qui est placée à l'intérieur de l'entrefer d'un aimant supraconducteur axisymétrique. L'interaction du champ magnétique sur la combustion a été expliquée sur la base de trois mécanismes : la force de Lorentz, l'effet direct sur les réactions chimiques et l'effet indirect sur l'oxygène.

Ciabanu et al. [14] ont conçu et construit un système magnétique, qui peut être en amont d'un brûleur. Les dimensions et la forme du système ont été déterminées sur la base de simulations antérieures. Leur circuit magnétique avait une spécification

géométrie qui peut créer un champ magnétique uniforme sur toute la largeur du tuyau. Le potentiel d'un champ électromagnétique dans l'amélioration de l'efficacité d'un moteur diesel a été étudié par Uguru-Okorie et Dare [15]. Leur examen conclut que la réduction de la viscosité obtenue par magnétisation entraîne une réduction du diamètre moyen de Sauter des gouttelettes de carburant, ce qui entraîne à son tour une meilleure atomisation et combustion du carburant. Attar et. Al. [16] ont observé que le temps nécessaire pour qu'un carburant hydrocarboné soit collecté dans un ballon avec un champ magnétique réduit à mesure que l'intensité du champ appliqué à la conduite d'écoulement augmentait. Cela peut être considéré comme une preuve de la diminution de la viscosité du carburant avec l'augmentation du champ magnétique. L'effet du champ magnétique sur les propriétés du carburant a été étudié par Ugare et. Al. [17], dont les résultats incluent une réduction de la densité jusqu'à 1.25% et une augmentation de la valeur calorifique de 1,19% lorsque l'essence a été utilisée comme carburant d'essai. Cet effet explique le changement d'orientation des hydrocarbures de l'état para à l'état ortho sous l'influence de champs magnétiques puissants.

L'effet de la magnétisation sur le n-hexane et le benzène à l'échelle moléculaire et électronique a été étudié par Jala et. Al. [18]. Leurs tests utilisant des techniques UV-visible et FT-IR ont suggéré que le facteur Frank-Condon (FC), qui est une mesure des états vibrationnels des molécules, est affecté par la magnétisation. Exposées à de forts champs magnétiques, les molécules d'hydrocarbures se sont modifiées en activant de nouveaux modes vibrationnels. Cela a entraîné une augmentation de l'énergie cinétique et de l'énergie libre du combustible, augmentant ainsi l'enthalpie de combustion. Kumar & Shakher [19] ont mené des expériences sur des flammes prémélangées, partiellement prémélangées et de diffusion générées par un brûleur de torche au butane en l'absence de champ magnétique et en présence de champs magnétiques uniformes et non uniformes. Ils ont étudié des paramètres sans dimension comme le nombre de Grashof magnétique, nombre de Froude magnétique et nombre de Reynolds pour savoir comment les renommées du butane sont affectées en présence d'un champ magnétique. Il ressort de leurs résultats que la concentration en oxygène est réduite en raison de la dominance de la force cinétique sur le gaz butane.

Agarwal et. Al. [20] ont utilisé un interféromètre Tablot pour étudier l'impact de l'aimantation sur le profil de température d'une flamme de diffusion. Ils ont observé qu'un champ magnétique croissant vers le haut entraînait une diminution de la température de la flamme et vice versa. Leur étude a également prouvé que très peu ou pas d'effet est produit sur la température de la flamme par un champ magnétique uniforme. L'effet du champ magnétique sur les propriétés physiques et l'indice de cétane du carburant diesel a été étudié par Elamin et. Al. [21]. Densité et viscosité réduites lors de la magnétisation car certains des composés cycliques ramifiés sont convertis en chaînes hydrocarbonées linéaires. De plus, ils ont observé une augmentation de l'indice de cétane diesel de 56,6 à 60,3, ce qui indique que la qualité du carburant s'est améliorée. L'interaction des champs magnétiques avec la combustion a été étudiée à travers divers nombres sans dimension par Singh [22]. Il a étudié le nombre de Froude, le nombre de Grashof et le nombre de Reynolds et a évalué que le comportement de la flamme est affecté par les champs magnétiques. Une étude expérimentale des propriétés de la combustion laminaire du méthane sous de forts champs magnétiques a été menée par Wein-Fei Wu et. Al. [23]. Dans cet essai alimenté au gaz naturel, ils ont observé qu'une augmentation de l'intensité du champ de gradient dans la direction verticale entraînait une augmentation de la température de la flamme de 52 K en moyenne. Une étude expérimentale des propriétés de la combustion laminaire du méthane sous de forts champs magnétiques a été menée par Wein-Fei Wu et. Al. [23]. Dans cet essai alimenté au gaz naturel, ils ont observé qu'une augmentation de l'intensité du champ de gradient dans la direction verticale entraînait une augmentation de la température de la flamme de 52 K en moyenne. Une étude expérimentale des propriétés de la combustion laminaire du méthane sous de forts champs magnétiques a été menée par Wein-Fei Wu et. Al. [23]. Dans cet essai alimenté au gaz naturel, ils ont observé qu'une augmentation de l'intensité du champ de gradient dans la direction verticale entraînait une augmentation de la température de la flamme de 52 K en moyenne.

Une étude expérimentale de la combustion de la biomasse ligneuse utilisant le co-feu au propane et la stabilisation induite par tourbillon de la zone de réaction de la flamme a été réalisée par Barmina et. Al. [24]. Ils ont conclu que le mélange amélioré sur le terrain des composés de la flamme et la combustion des volatils favorisent une expansion radiale de la zone de réaction de la flamme, diminuant C et H<sub>2</sub> concentration en masse et en augmentant la concentration volumique de NO<sub>x</sub> et quantité totale de chaleur produite. Leurs résultats ont montré que la force magnétique, agissant sur le flux de flamme, améliore le transfert de masse de l'oxygène paramagnétique dans une direction de champ vers la surface du combustible bois en combustion en améliorant la recirculation avec le flux axial inverse.

formation et un mélange plus intensif des composés de la flamme. Les variations induites sur les profils de vitesse de flamme, de composition, de température et d'efficacité de combustion par un champ magnétique ont été expérimentalement étudiées par Barmina et Zake [25]. Leurs résultats montrent que le transfert de masse accru dû au magnétisme perturbe significativement les profils de vitesse et de composition axiale et tangentielle. Ainsi, les réactions de combustion sont améliorées le long de la partie extérieure de la zone de réaction.

### **EFFET SUR LES PERFORMANCES ET LES ÉMISSIONS DES MOTEURS ALIMENTÉS PAR DES HYDROCARBURES MAGNÉTIQUEMENT CONDITIONNÉS**

En 1992, Timbres et. Al. [26] ont breveté un dispositif contenant un ensemble d'aimants permanents ayant au moins un aimant placé à côté du passage de fluide. Deux aimants ont été placés diamétralement opposés par rapport au passage de fluide et le dispositif de conditionnement magnétique a été testé sur un moteur Plymouth Voyage à injection de carburant à six cylindres de 3,3 litres. Le kilométrage s'est amélioré de 2,3 miles par gallon. Le temps nécessaire pour chauffer une quantité fixe de kérosène a été pris comme paramètre pour le calcul de l'efficacité thermique par Saksono [27]. L'intensité magnétique, l'orientation des pôles, le débit de carburant et la distance de l'aimant au brûleur ont été modifiés pour examiner les effets. D'après ses recherches, il est évident que la magnétisation peut augmenter l'efficacité du poêle à pétrole, l'amélioration maximale étant de 17,5 %.

Des aimants NdFeB d'intensités variables ont été placés avec leurs pôles nord face au noyau du radiateur sur un moteur à allumage par étincelle monocylindre à deux temps par Govindasamy et. al [28]. L'efficacité thermique des freins et la pression de pointe du moteur ont augmenté de 3,2 % et 6,1 % respectivement, ainsi qu'une réduction des hydrocarbures imbrûlés et du monoxyde de carbone. la force a été augmentée. Govindasamy & Dandapani [30] ont testé le conditionnement magnétique du Jatropha Biodiesel sur un moteur diesel monocylindre à quatre temps. L'efficacité thermique a augmenté jusqu'à 5 % et l'émission de NOx a diminué de près de 10 %. Différentes phases d'essais ont été réalisées sur un moteur diesel marin 6 cylindres 4S Perkins de Clifford et. Al. [31], qui a permis une réduction de la consommation spécifique de carburant jusqu'à 3,26 %. Une réduction des SFC de 15 % ainsi qu'une diminution de la concentration des émissions de CO, HC et NOx ont été obtenus par Fatih et. Al. [32] lorsque des aimants permanents étaient utilisés sur un moteur essence quatre temps quatre cylindres. Des électroaimants bobinés de cuivre ont été montés sur un moteur Imex monocylindre à quatre temps par Okoronkwo et. Al. [33]. Leurs recherches ont abouti à une réduction de l'UBHC de 50 % et du monoxyde de carbone de près de 35 %.

Habbo et. Al. [34] utilisant des champs magnétiques de 1000G et 2000G. Une diminution considérable de la consommation spécifique de carburant et une diminution significative des gaz d'échappement ont été notées. Il y a également eu une baisse de la température des gaz d'échappement jusqu'à 8%. Faris et. Al. [35] ont étudié l'effet du champ magnétique sur la microstructure du carburant à l'aide de spectres. Les tests ont été étendus à un moteur à allumage commandé à deux temps, dans lequel la consommation spécifique de carburant a montré une réduction allant jusqu'à 14 %. Les émissions d'UBHC et de CO ont diminué jusqu'à 30 % et 40 % respectivement, mais une augmentation de 10 % a été notée dans les émissions de dioxyde de carbone.

Le carburant et les conduites d'air d'un moteur diesel vertical monocylindre ont été magnétisés à l'aide d'aimants permanents par Jain et. Al. [36]. Ils ont observé que la réduction maximale de la consommation de carburant était aux charges les plus élevées lorsque la charge variait de 0 à 10 kg. Deux économiseurs de carburant électromagnétiques avec des noyaux constitués d'acier au carbone ordinaire et de cuivre ont été développés par Siregar et Nainggolan [37] et testés à la fois en laboratoire et sur route. Le noyau de cuivre s'est avéré plus efficace pour induire une force magnétique que l'acier, bien que la théorie propose le cas contraire. Attor et. Al. [38] ont mené des tests sur

moteur diesel stationnaire ainsi qu'à bord d'une moto avec des intensités magnétiques appliquées variant de 2000G à 8000G Le kilométrage du vélo a augmenté d'environ 7kmpl dans les tests à bord. Une contradiction majeure avec les résultats existants a été présentée par Ugare et. Al. [39] dans le cas d'un moteur Diesel. Dans leurs tests utilisant une valeur de champ magnétique de 5000G, Les NOx ont augmenté de 19 %. Ils ont observé une augmentation de 1,19% du pouvoir calorifique de l'essence par conditionnement magnétique, mais la physique sous-jacente du phénomène n'a pas été discutée.

Une série d'expériences à bord ont été menées sur diverses marques d'automobiles alimentées par de l'essence conditionnée magnétiquement par Garg et. Al. [40]. Toutes les marques ont montré une amélioration des performances et des caractéristiques d'émission, bien que le pourcentage d'amélioration ait varié selon la marque du moteur. En moyenne, le kilométrage a augmenté de 15 à 25. Une augmentation de 2% de l'efficacité thermique des freins avec une réduction de 27% des émissions de NOx a été obtenue par Patel et. Al. [41] utilisant des aimants en ferrite d'intensités variables. Vijayakumar et. Al. [42] ont utilisé des aimants NdFeB de 6000G recouverts de Ni-Cu-Ni sur un moteur diesel monocylindre à quatre temps. Il a été constaté que l'AFR passait de 31,38 à 33,8 avec une amélioration notable des performances et des caractéristiques d'émission.

Patel et. Al. [43] ont fait des recherches sur un moteur diesel avec l'application d'un conditionnement magnétique aux côtés du convertisseur catalytique. L'amélioration maximale des performances et des caractéristiques d'émission a été obtenue par la combinaison des deux technologies. La quantité de CO<sub>2</sub> dans l'échappement a augmenté avec ces modifications. Sala & Notti [44] installé un dispositif électromagnétique à bord d'un navire de pêche. Une réduction globale de 4,6% a été observée dans la consommation de carburant après l'installation du dispositif magnétique. CO réduit de 14,1 %, b<sub>2</sub>utinC ~~cr~~culé de 11,4 %. Une inspection a prouvé que les injecteurs du navire qui utilisaient le dispositif magnétique étaient dans un état plus propre et meilleur Abdel-Rehim et. Al. [45] ont mené une série d'expériences pour explorer l'effet du traitement magnétique du carburant sur les performances des moteurs à combustion. L'essence, le diesel et le gaz naturel ont été testés dans deux moteurs différents avec des configurations différentes sous l'exposition au champ magnétique. Leur étude a conclu que l'impact le plus élevé de la magnétisation était sur l'essence par rapport aux deux autres carburants.

Kana & Shaija [46] ont monté un électroaimant à solénoïde sur la conduite de carburant d'un moteur diesel monocylindre. L'efficacité thermique des freins s'est avérée augmenter d'au moins 5 % et les émissions de NOx réduites de près de 44 % au cours du processus. La configuration et la procédure expérimentales Simila ont été utilisées par Chaware et. Al. [47] et ont trouvé une amélioration de l'efficacité thermique du moteur jusqu'à 14 % tout en réduisant l'UBHC de 34 %, le CO<sub>2</sub> de 9 % chacun. La température des gaz d'échappement s'est avérée augmenter avec l'augmentation de l'intensité magnétique. Des expériences ont été menées à bord de moteurs de motocycles par Saxena [48] pour étudier l'effet produit par l'aimantation. Une réduction notable des émissions de HC et de CO a été obtenue dans leur travail.

Jundale & Patil [49] ont appliqué des aimants NdFeB sur un moteur Premier Padmini à quatre cylindres et quatre temps fonctionnant à vitesse constante et ont observé une réduction des émissions de monoxyde de carbone de 52 %, UBHC de près de 14 %.  
NON  
Khedawan & Gaikwad [50] ont étudié l'effet des champs magnétiques sur le réfrigérant à base d'hydrocarbures R600 et non à base d'hydrocarbures R134A pour un système de compression de vapeur. Réduction de la consommation de carburant et de la concentration des gaz d'échappement du R600 à base d'hydrocarbures lors du conditionnement magnétique. Il n'y avait aucun effet du champ magnétique sur les réfrigérants sans hydrocarbures. Un moteur Mercedes Benz alimenté par de l'essence irakienne a été magnétisé et mis à l'étude par Mohamme Al-Rawaf [51]. Une réduction de la consommation de carburant de 5,5 % et une augmentation de l'efficacité thermique des freins jusqu'à 13,5 % ont été obtenues dans ce travail. Gabine et. Al. [52] ont étudié l'utilité des dispositifs magnétiques pour augmenter l'efficacité énergétique des navires de pêche. Ils ont testé trois dispositifs magnétiques indépendants sur trois moteurs à allumage par compression différents et dans des conditions de fonctionnement différentes.

Une réduction notable des émissions de CO à bas régime a également été observée.

Gad [53] a mené des expériences sur un moteur diesel kirloskar monocylindre à quatre temps uniquement à pleine charge et sans conditions de charge. SFC réduit de 3 % à 8,5 % de la charge nulle à la pleine charge. Emission de CO réduite de 10% et 4,5% alors que NO<sub>x</sub> diminué de 13 % et 24 % respectivement. L'impact sur les performances et les émissions d'un générateur diesel lorsque le tube magnétique est inclus dans l'admission de carburant a été étudié par Chen et. Al. [54]. Une diminution de la consommation spécifique de carburant de 3,5 % et une augmentation de l'efficacité thermique des freins de la même ampleur ont été observées dans leurs expériences. Kurji an Imran [55] a effectué des tests sur un moteur CI monocylindre à quatre temps avec des aimants permanents installés avant la pompe d'injection. Consommation de carburant réduite jusqu'à 15,71 % grâce à la réduction de la tension superficielle due à la magnétisation. Les émissions telles que CO, HC et NO<sub>x</sub> également réduit de manière significative.

## **CONCLUSION**

Divers travaux sur l'effet du champ magnétique sur la structure des hydrocarbures, les propriétés, le comportement de la flamme et l'effet qu'il produit sur les performances et les caractéristiques d'émission de différents types de moteurs à combustion interne est examiné en détail. L'étude montre qu'une amélioration significative est possible dans les propriétés des carburants hydrocarbonés jusqu'au traitement magnétique. Le champ magnétique appliqué, s'il est suffisamment puissant, peut repousser et interférer avec le comportement normal de la flamme. La majorité des travaux de recherche prouvent que les paramètres de performance d'un moteur comme la consommation de carburant spécifique et l'efficacité thermique des freins peuvent être améliorés à un niveau significatif, alors que certains travaux reflètent des résultats contradictoires dans le cas des émissions de polluants comme CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> etc. Des recherches approfondies dans ce domaine peuvent éliminer les confusions existantes et explorer la mise en œuvre de cette technique à bord des automobiles et des moteurs stationnaires qui peuvent aider à minimiser la pollution et l'utilisation des combustibles fossiles à l'avenir.

## **RÉFÉRENCES**

1. Ueno, S., Harada, K. (1985) "Effet des champs magnétiques sur les flammes et le flux de gaz", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. Mag-21, No.5.
2. Ueno, S., Harada, K. (1987) "Combustion Process under strong DC Magnetic Fields", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. Mag-23, No.5, 2752-2754.
3. Guo, H., Chen, Y., Yao, R. (1986) "Une étude des effets magnétiques sur les propriétés physicochimiques des hydrocarbures individuels" *IEEE Transactions on Magnetics*
4. Aoki, T., (1989) "Émissions de radicaux et flammes de diffusion de butane exposées à des champs magnétiques décroissants vers le haut", *Journal japonais de physique appliquée*, Vol. 28, pp 776-785.
5. Wakayama, N., (1992) "Effet d'un champ magnétique de gradient sur la combustion du méthane dans l'air", *Chemical Physics Letters*, Vol. 188, n° 3, janvier 1992, pages 279-281.
6. Baker, J., Varagani, R. (2003) "Modèles et expériences de flammes à diffusion laminaire dans des champs magnétiques non uniformes", *Septième atelier international sur la combustion en microgravité et les systèmes de réaction chimique*, pp 317-320.
7. Morozov, Y., Kuznetsov, M. (1999) "Effet des champs magnétiques sur la force électromotrice de combustion", *Combustion, Explosion and Shock waves*, Vol. 35, p. 18-22.
8. Tao, R. (2004) "Investigate Effects of Magnetic Fields on Fuels", *Département de physique, Temple University, Philadelphie*.



9. Tao, R., Xu, X. (2006) "Réduction de la viscosité du pétrole brut par champ électrique ou magnétique pulsé", *Energy & Fuels*, Vol. 20, pages 2046-2051.
10. Loskutova, Y., Yudina, N., Pisareva, S. (2008) "Effet du champ magnétique sur les caractéristiques paramagnétiques, antioxydantes et de viscosité de certains pétroles bruts", *Petroleum Chemistry*, 48(1):51-55.
11. Evdokimov, I., Kornishin, K. (2009) "Désagrégation apparente des colloïdes dans un pétrole brut traité magnétiquement", *Energy & Fuels*, Vol. 23, pages 4016-4020.
12. Legros, G., Gomez, T., Fessard, M., Guibert, P., Torero, J. (2010) "Magnetically duced Flame Flickering", *Actes du Combustion Institute*, 33, pp 1095-1103.
13. Gillion, P., Blanchard, J., Gilard, V. (2010) "Influence du champ magnétique sur les flammes de diffusion laminaire coflow", *Russian Journal of Physical Chemistry*, Vol. 4, pages 279-285.
14. Ciabanu, R., Dontu, O., Gheorghe, G., Avarvarci, J., Besnea, J. (2011) "Système à aimants permanents utilisé pour le traitement magnétique des fluides combustibles", *Actes de la Conférence internationale sur les innovations, Tendances et défis récents en mécatronique, génie mécanique et développement de nouveaux produits de haute technologie*, Vol. 3, pages 211-214.
15. Uguru-Okorie, D., Dare, A. (2013) "Améliorateurs de combustion dans les moteurs diesel : option de champ magnétique", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 5, pages 21-24.
16. Attar, A., Bhojwani, V., Deshmukh, S. (2013) "Effet de l'intensité du champ magnétique sur la viscosité du carburant à base d'hydrocarbures et les performances du moteur", *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*, Vol.1, pp 94- 98.
17. Ugare, V., Bhave, N., Lutande, S. (2013) "Performance of Spark Ignition Engine under the influence of Magnetic Field", *International Journal for Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, Vol.1, pp 36- 43.
18. Jalali, M., Ahmadi, M., Yadaei, F., Azimi, M., Hoseini, H. (2013) "Enhancement of Benzine Combustion Behavior in Exposure to the Magnetic Field", *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. . 1, n° 3, pages 224-227.
19. Kumar, M., Agarwal, S., Kumar, V., Khan, G., Shakher, C. (2015) "Enquête expérimentale sur la flamme de diffusion de butane sous l'influence du champ magnétique en utilisant l'interférométrie numérique à motif de chatoiement," *Optique appliquée*, 54(9), pp2450-2460.
20. Agarwal, S., Kumar, M., Shakher, C. (2015) "Enquête expérimentale sur l'effet du champ magnétique sur la température et le profil de température de la flamme de diffusion à l'aide d'un interféromètre Talbot à réseau circulaire", *Optique et lasers en ingénierie*. 68, 214-221.
21. Elamin, A., Ezeldin, M., Masaad, A., Suleman, N. (2015) "Effet du champ magnétique sur certaines caractéristiques physiques et l'indice de cétane du carburant diesel", *American Journal of Applied Chemistry*, Vol. 3, pp 212-216.
22. Singh, A. (2015) "Mesure du comportement d'écoulement de carburant de la flamme de diffusion de propane par des nombres sans dimension sous application de champ magnétique", *International Journal of Combined Research and Development*, Vol. 4, pages 585-586.
23. Wu, W., Qu, J., Zhang, K., Chen, W., Li, B. (2016) "Études expérimentales de l'effet magnétique sur les caractéristiques de combustion laminaire du méthane", *Combustion Science & Technology*, Vol. 188, pages 472-480.
24. Barmina, I., Zake, M. (2016) "Effets du champ magnétique sur la dynamique des flammes tourbillonnantes", *Ingénierie pour le développement rural*, Jelgava.
25. Barmina, I., Zake, M. (2017) "Magnetic Field Control of Combustion Dynamics", *Letton Journal of Physics and Technical Sciences* Vol. 53(4) pages 36-46.
26. Stamps, R., Williams, A. (1992) "Combustion Efficiency Improvement Device", brevet américain 5129382A.

27. Saksono, N. (2005) "Magnétiser le kérosène pour augmenter l'efficacité de la combustion", *Jurnalteknologi, Edisi n° 2*, pp 155-162.
28. Govindasamy, P., Dhandapani, S. (2007) "Performance and Emission Achievements by Magnetic Energizer with a single cylinder Two Stroke Catalytic Coated Spark Ignition Engine", *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol.66, pp. 457- 463.
29. Govindasamy, P., Dhandapani, S. (2007) "Enquête expérimentale sur la variation cyclique des paramètres de combustion dans un moteur SI à deux temps à activation catalytique et magnétique", *Journal of Energy and Environment*, Vol. 6, pp 45-59.
30. Govindasamy, P., Dhandapani, S. (2007) Actes de la Conférence internationale GMSARN sur le développement durable : Défis et opportunités pour GMS.
31. Clifford, T. (2008) "Déterminations de l'effet des installations (électro-)magnétiques, d'un additif pour carburant et d'un additif pour lubrifiant sur la consommation de carburant diesel", *Rapport exécutif pour la Sea fish Industry Authority*, pp 1-64.
32. Fatih, F., Saber, G. (2010) "Effet du magnétisme du carburant sur les performances et les émissions du moteur", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 4, pages 6354-6358.
33. Okoronkwo, C., Nwachukwu, C., Ngozi-olehi, L., Igbokwe, J. (2010) "Effet de la densité de flux électromagnétique sur l'ionisation et la combustion du carburant", *American Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol.1(3), pages 527-531.
34. Habbo, A., Khalil, R., Hammoodi, H. (2011) "Effet de la magnétisation du carburant sur les performances d'un moteur SI", *Al-Rafidain Engineering Journal*, Vol. 19, pages 84-90.
35. Faris, A., Saadi, K., Jamal, N., Isse, R., Abed, M., Fouad, Z., Kazim, A., Reheem, N., Chaloob, A., Mohammed, H., Jasim, H. Sadeq, J., Salim, A., Abas, A. (2012) "Effet du champ magnétique sur la consommation de carburant et les émissions d'échappement dans les moteurs à deux temps", *Energy Proceedia*, Vol. 18, pages 327-338.
36. Jain, S., Deshmukh, S. (2012) "Enquête expérimentale sur le conditionneur de carburant magnétique dans le moteur à combustion interne", *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 2, pp 27-31.
37. Siregar, H., Nainggolan, R. (2012) "Économiseur de carburant électromagnétique pour améliorer les performances du moteur diesel", *Global Journal of Researches in Engineering, Mechanical and Mechanics Engineering*, Vol. 12.
38. Attar, A., Bhojwani, V., Deshmukh, S. (2013) "Effet de l'intensité du champ magnétique sur la viscosité du carburant à base d'hydrocarbures et les performances du moteur", *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*, Vol.1, pp 94- 98.
39. Ugare, V., Bhave, N., Lutande, S. (2013) "Performance of Spark Ignition Engine under the influence of Magnetic Field", *International Journal for Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, Vol.1, pp 36- 43.
40. Srihari, K., & Reddy, CK (2014). Effets de Sored je suishamp magnétique sur écoulement instationnaire d'un rayonnement et d'un produit chimique *Fluide réactif : une approche par différence finie. Journal international de génie mécanique*, 3(3).
41. Garg, R., Agarwal, A. (2013) "Fuel Energizer: The Magnetizer (A Concept of Liquid Engineering)", *International Journal of Innovative Research & Development*, Vol. 2, pages 617-627.
42. Patel, P., Rathod, G., Patel, T. (2014) "Effet du champ magnétique sur les performances et les émissions d'un moteur diesel monocylindre à quatre temps", *IOSR Journal of Engineering*, Vol 4, pp 28-34.
43. Vijayakumar, P., Patro, S., Pudi, V. (2014) "Étude expérimentale d'une nouvelle méthode d'ionisation magnétique du carburant dans les moteurs diesel à quatre temps", *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol. 3, pp 151-159.

44. Patel, P., Rathod, G., Patel, T. (2014) "Effet du champ magnétique sur les performances et les émissions d'un moteur diesel monocylindre à quatre temps", *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 4, pp 28-34.
45. Sala, A., Notti, E. (2014) "Tests préliminaires d'un nouveau dispositif magnétique pour l'économie de carburant et la réduction des émissions dans les pêcheries", *Troisième symposium international sur l'efficacité énergétique des navires de pêche*, pp 1-5.
46. Abdel-Rehim, A., Attia, A. (2014) "Le traitement magnétique du carburant affecte-t-il les performances du moteur?", *Document technique SAE* 2014-01-1398.
47. Kana, R., Shaija, A. (2015) "", *Actes du XXIV NCICEC*, pp 17-21.
48. Chaware, K., Basavaraj, M. (2015) "Effet du magnétisme du carburant en faisant varier l'intensité sur les performances et les émissions d'un moteur diesel à quatre temps monocylindre", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 2, pages 1121-1126.
49. Saxena, K. (2015) "Une étude de cas sur la réduction des émissions nocives des gaz d'échappement dans les moteurs à combustion", *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering*, Vol.3, pp 21-22.
50. Jundale, V., Patil, D. (2015) "Analyse du carburant et des gaz d'échappement du moteur SI à l'aide d'un aimant", *International Journal of Science and Technology*, Vol. 3, pages 155-159.
51. Khedvan, A., Gaikwad, V. (2015) "Review on Effect of Magnetic Field on Hydrocarbon Refrigerant in Vapor Compression Cycle", *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, Vol. 4, pages 1374-1378.
52. Al-Rawaf, M. (2015) "Effets du champ magnétique sur les performances du moteur à allumage commandé et ses émissions à haut régime", *Journal of Engineering and Development*, Vol. 19, p. 37-48.
53. Gabina, G., Basurko, O., Notti, E., Sala, A., Aldekoa, S., Clemente, M., Uriondo, Z. (2016) "Efficacité énergétique dans la pêche : les dispositifs magnétiques sont-ils utiles pour sur les navires de pêche ?", *Applied Thermal Engineering*, 94, pp 670-678.
54. Gad, M., Farrang, A. (2016) "Effet du magnétisme du carburant sur les performances des brûleurs à mazout industriels brûlant de l'huile de cuisson usée", *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 16, pp 25-37.
55. Chen, C., Lee, W., Mwangi, J., Wang, L., Lu, J. (2017) "Impact of Magnetic tube on Pollutant Emissions from the Diesel Engine", *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. . 17, pages 1097-1104.
56. Necib, D., & Bouchoucha, A. Influence du MagnF etid sur la Morphologie de l'Usure de l'Insert en Carbone P25 sans lubrification.
57. Kurji, H., Imran, M. (2018) "Effet du champ magnétique sur les performances du moteur CI", *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 13, pages 3943-3949.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/332353350>

# A STUDY ON THE EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON THE PROPERTIES AND COMBUSTION OF HYDROCARBON FUELS

Article in *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* · April 2019

CITATIONS

2

READS

3,449

1 author:



[Libin P Oommen](#)

Providence College of Engineering

16 PUBLICATIONS 31 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Study of magnetic field-assisted combustion of hydrocarbon fuels [View project](#)



Exergy analysis of rotary kilns in cement plants [View project](#)

## A STUDY ON THE EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON THE PROPERTIES AND COMBUSTION OF HYDROCARBON FUELS

LIBIN P. OOMMEN & KUMAR. G. N

*National Institute of Technology Karnataka, Surathkal, Karnataka, India*

### ABSTRACT

*Researchers all around the world are working towards possible solutions to the problems of accelerating depletion of fossil fuels, and the perennial problem of pollution associated with the combustion of such fuels. Towards the end of twentieth century, the effect of strong magnetic fields on molecular structure and its potential to alter the properties at the molecular level were discovered. A number of researchers have focused their attention on this topic, and have come out with appreciable results regarding the performance and exhaust emission characteristics of magnetically conditioned hydrocarbon fuels. In this paper, a comprehensive review has made on the effect that magnetic fields create on the structure and properties of hydrocarbons, and the effect it produces on the combustion and emission characteristics of magnetically conditioned hydrocarbon fuels.*

**KEYWORDS:** *Fossil Fuels, Hydrocarbon Fuels, Combustion & Emission*

**Received:** Feb 20, 2019; **Accepted:** Mar 12, 2019; **Published:** Apr 11, 2019; **Paper Id.:** IJMPERDJUN20199

### INTRODUCTION

The world is facing an acute shortage of energy from fossil fuels. The dependence on fossil fuels and the pressure on existing non-renewable energy sources are so high that they would get depleted in the near future. The energy requirements of human beings have increased manifold, owing to the exponential growth of population; and the gap between supply and demand of energy is increasing at an alarming rate.

Another global trans-boundary problem associated with the fossil fuels is the ever-increasing rate of environmental pollution. Statistics show that there has been a 50% increase in annual global emissions from fossil fuels in a time of 20 years ranging from 1990 to 2010. The pollutants emitted during fossil fuel combustion include CO, CO<sub>2</sub>, Oxides of nitrogen, Oxides of sulphur, UBHC, lead and suspended PM. These pollutants have damaging effects on both living and non-living components of the ecosystem.

The anticipated depletion of the fossil fuels in the near future and the adverse effects of emitted pollutants have made the researchers around the world to think about different methods of conditioning the fuels, that will increase their combustion efficiencies and bring down the resultant pollutants. One such method is the magnetic conditioning of fuels.

### THEORY OF MAGNETIC FUEL CONDITIONING

Any hydrocarbon fuel is a compound of molecules. These molecules consist of a number of atoms, which in turn made up of nucleus and electrons. Thus, it is quite clear that both positive and negative electrical charges exist in the molecules. These molecules in their natural state form a cluster within them, and will not actively

interlock with the oxygen molecules during combustion. Hydrocarbons can be polarised by the exposure to external magnetic fields. The effect of such magnetism is the creation of a moment caused by the movement of outer electrons of a hydrocarbon chain, moving the electrons into states of higher principal quantum number. This state effectively breaks down the fixed valence electrons that part take in the bonding process of fuel compounds. The hydrocarbons become directionalised and align the conducted magnetic moment into a dipole relationship within itself. On the application of a magnetic field, the hydrocarbon molecules of a fuel are ionized and realigned, resulting in the weakening of Vander Vaal's bonds followed by the de-clustering of existing hydrocarbon clusters. Subsequently, this will result in the active interlocking between fuel and oxygen molecules, ensuring better completion of combustion process.

In the process of combustion of a hydrocarbon fuel, it is the outer shell of hydrogen that gets combusted first. Hydrogen exists in two distinctive forms- ortho hydrogen and para hydrogen. The ortho and the para variants of hydrogen differ in the relative orientation of nuclear spin of the two protons. In the para state, spin of the protons is anti-parallel, whereas in the ortho molecule, the spin is parallel. This spin orientation has a pronounced effect on the behaviour of the molecule. Ortho hydrogen is found to be unstable and more reactive than para state. The fuel molecules will normally be in the para state with opposite spins, getting attracted to each other, forming clusters. When the fuel is mixed with air at that particular condition, all the molecules of the fuel may not combine with the oxygen molecules in the air for combustion, and hence some of the fuel molecules escape into the atmosphere as unburnt gas. When magnetic treatment is carried out, the molecules that normally occur in the para state gets oriented into the active ortho state, thus weakening the bonds between fuel molecules.

Faraday's law states that when a field is introduced perpendicular to that circuit, electro-motive force acts upon the electron, by which the nature of motion of atomic orbits is altered. Hence, a diamagnetic ion subjected to magnetism exhibits positive ionization, which in turn helps the hydrocarbons to attract and bond with negatively charged oxygen.

From the thermodynamic point of view, the consumption of fuel is completely dependent on its combustion enthalpy. The enthalpy of a reaction can be calculated by using the bonding energy of reactants and products. If the magnetic treatment is able to alter the bonding energy of hydrocarbon molecules, the consumption rate of fuel will get altered as well. Thus, the reduction in the bonding energy directly affects the enthalpy and subsequently affects the rate of consumption of fuel. The weakening of bonds between fuel molecules also aid in the formation of more bonds with oxygen molecules, ensuring an increase in combustion efficiency.

## **EFFECT OF MAGNETIC FIELDS ON HYDROCARBON STRUCTURE, PROPERTIES & FLAME BEHAVIOUR**

Shoogo Ueno [1] studied the effect of magnetic fields on the structure of flames and gas flows under external combustion using methane, propane and hydrogen as test gases. He observed that the shapes of the flames were drastically changed by the magnetic field, independent of the gases used. The combustion velocity was also found to increase in proportion to the gradient of the field. In another study [2], they observed that combustion velocities and temperatures are influenced by magnetic fields.

Guo et. al.[3] proposed the effects of magnetic field on the physio-chemical properties of individual hydrocarbons. They observed a fractional change in viscosity of hydrocarbon fuel on the application of a magnetic field. The magnitude of viscosity change was found to be increasing with increasing strength of the magnetic field.

The more the carbon numbers of the normal paraffinic hydrocarbons, the more rate of decrease of viscosity was observed. Their study showed that surface tension of hydrocarbons also decreased marginally upon magnetisation. An unpremixed diffusion flame of butane was exposed to a negative gradient magnetic field by Aoki [4] that resulted in the increase in temperatures, reduction of dimensions and an increase in the bluing tendency of the flame

Wakayama [5] observed that a combustion reaction is initiated when a fuel gas is made to flow in a downward gradient magnetic field. His investigation on methane diffusion flames proved that a negative gradient field increased the combustion rates for diffusion flames whereas the field had little effect on premixed flames. He also suggested that a gradient magnetic field could control a chemical reaction in which the magnetic susceptibilities of individual species are involved. Baker and Varagani [6] examined laminar diffusion slot flames under non-uniform magnetic fields. Slot flames were chosen for the study because of the simplicity of obtaining a symmetric magnetic field around them during mathematical modelling. They observed a decrease in maximum flame temperature with the application of an upward decreasing magnetic field. The potential of a constant magnetic field in altering the propagation conditions of a combustion wave was studied by Morozov et. al. [7]. They observed an increase of combustion velocity by 30% in a 0.27T magnetic field. This increase in combustion velocity is attributed to the degree of agglomeration of the system in a magnetic field. A combustion electromotive force is developed owing to the ionisation of the reagents and intermediate products in the combustion front.

A strong pulse magnetic field with suitable duration was applied in the investigation of Tao [8], which was found to reduce the viscosity of gasoline and diesel. The viscosity reduction was only for some hours and the original property values were regained after some time. In another study, Tao & Xu [9] investigated the relationship between applied magnetic field and viscosity of an MR fluid and crude oil, the optimum duration of magnetic field application and the average size of particle clusters when duration of applied magnetic field is increased. It is evident that the Paraffin particles have different magnetic permeability from the solvent, which resulted in viscosity reduction. The effect of a magnetic field on the structural and rheological properties of crude oils with various concentrations of resins, asphaltenes, and paraffin hydrocarbons was examined by Loskutova et. al. [10]. It was found that in high viscosity oils, the characteristics such as viscosity, antioxidant and paramagnetic properties are affected when subjected to magnetisation. The time of complete recovery of paramagnetic and antioxidant properties coincides with the recovery time of the rheological characteristics of petroleum.

Evdokimov & Kornishin [11] carried out a critical study to disprove the earlier published physics of viscosity reduction due to magnetic fuel conditioning. They concluded that the viscosity reduction due to MFC occurs due to disaggregation of colloids in the oil. The effect of a high downward decreasing magnetic density on a laminar methane diffusion flame was studied by Legros et. al. [12]. A flickering of flame was observed in their study with downward gradient magnetic flux ranging from 0.4 to 1.4 T<sup>2</sup>/m. They also suggested that buoyancy and shear stress might be strengthened by the magnetic force, thus hastening the instability onset. Gillion et. al. [13] Conducted experiments on a burner to which propane is issued vertically through an open cylindrical cavity, which is placed inside the air gap of an axisymmetric superconducting magnet. The interaction of magnetic field on combustion was explained based on three mechanisms-Lorentz force, direct effect on chemical reactions and indirect effect on oxygen.

Ciabanu et. al. [14] designed and built a magnetic system, which can be at upstream of a burner. The dimensions and shape of the system was determined based on earlier simulations. Their magnetic circuit had a special

geometry that can create an even magnetic field throughout the width of the pipe. The potential of an electromagnetic field in improving the efficiency of a diesel engine was studied by Uguru-Okorie and Dare [15]. Their review concludes that the reduction in viscosity obtained through magnetisation results in reduced Sauter Mean Diameter of fuel droplets, which in turn results in better atomisation and combustion of the fuel. Attar et. al. [16] observed that the time taken for a hydrocarbon fuel to get collected in a flask with magnetic field reduced as the field strength applied to the flow line was increased. This can be taken down as an evidence of decrease in fuel viscosity with increase in the magnetic field. The effect of magnetic field on fuel properties was studied by Ugare et. al. [17], whose findings include a reduction in density up to 1.25% and an increase in calorific value by 1.19% when gasoline was used as the test fuel. This effect is accounted on the change in orientation of hydrocarbons from para to ortho state under the influence of strong magnetic fields.

The effect of magnetisation on n-hexane and benzene in molecular and electronic scale was investigated by Jalali et. al. [18]. Their tests using UV-visible and FT-IR techniques suggested that Frank-Condon factor (FC), which is a measure of vibrational states of molecules, is affected by magnetisation. On exposure to strong magnetic fields, the hydrocarbon molecules got modified by activating new vibrational modes. This resulted in increased kinetic energy and free energy of fuel, thereby increasing the combustion enthalpy. Kumar & Shakher [19] conducted experiments on premixed, partially premixed and diffusion flames generated by butane torch burner in the absence of magnetic field and in the presence of uniform and non-uniform magnetic fields. They studied dimensionless parameters like magnetic Grashoff number, magnetic Froude number and Reynolds number to find out how butane flames are affected in the presence of a magnetic field. It is evident from their results that oxygen concentration is reduced because of dominance of momentum force on butane gas.

Agarwal et. al. [20] made use of a Tablot interferometer to study the impact caused by magnetisation on the temperature profile of a diffusion flame. They observed that an upward increasing magnetic field resulted in the decrease in flame temperature and vice versa. Their study also proved that very little or no effect is produced on the temperature of a flame by a uniform magnetic field. The Effect of magnetic field on physical properties and Cetane number of diesel fuel was investigated by Elamin et. al. [21]. Density and viscosity reduced on magnetisation because some of the branched and ring compounds are converted to linear hydrocarbon chains. In addition, they observed an increase in Cetane number of diesel from 56.6 to 60.3, which indicates that the quality of fuel was improved. The interaction of magnetic fields with combustion was studied through various dimensionless numbers by Singh[22]. He studied Froude number, Grashoff number and Reynolds number and assessed that flame behaviour is affected by magnetic fields. An experimental investigation of properties of methane laminar combustion under strong magnetic fields was conducted by Wein-Fei Wu et. al. [23]. In this natural gas fuelled test, they observed that an increasing gradient field intensity in the vertical direction resulted in an increase of flame temperature by 52 K on an average.

An experimental study of combustion of wood biomass using the propane co-fire and swirl-induced stabilization of the flame reaction zone was carried out by Barmina et. al. [24]. They concluded that the field-enhanced mixing of the flame compounds and combustion of the volatiles promotes a radial expansion of the flame reaction zone, decreasing CO and H<sub>2</sub> mass concentration and increasing the CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> volume concentration and total amount of produced heat. Their results have shown that the magnetic force, acting on the flame flow enhances the mass transfer of paramagnetic oxygen in a field direction to the surface of burning wood fuel by enhancing recirculation with the reverse axial flow



formation and more intensive mixing of the flame compounds. The variations induced on flame velocity, composition, temperature and combustion efficiency profiles by a magnetic field were experimentally studied by Barmina and Zake [25]. Their results show that the enhanced mass transfer due to magnetism significantly disturbs the axial and tangential velocity and composition profiles. Thus, combustion reactions get enhanced along the outside part of the reaction zone.

### **EFFECT ON PERFORMANCE & EMISSIONS OF ENGINES FUELLED BY MAGNETICALLY CONDITIONED HYDROCARBONS**

In 1992, Stamps et. al. [26] patented a device containing a permanent magnet assembly having at least one magnet placed adjacent to the fluid passageway. Two magnets were placed diametrically opposed in relation to the fluid passageway and the magnetic conditioning device was tested on a six cylinder 3.3 litre fuel injected Plymouth Voyager engine. The mileage improved by 2.3 miles per gallon. The time required for heating a fixed quantity of kerosene was taken as a parameter for the calculation of thermal efficiency by Saksono [27]. Magnetic intensity, pole orientation, fuel flow rate and distance of magnet from burner were varied for examining the effects. From his research, it is evident that magnetisation can increase the efficiency of kerosene stove, the maximum improvement being 17.5%. It can also be concluded that distance at which magnet is placed also has a profound effect on efficiency improvement.

NdFeB magnets of varying intensities were placed with their north poles facing the radiator core on a single cylinder two-stroke spark ignition engine by Govindasamy et. al [28]. Brake Thermal Efficiency and peak pressure of the engine increased by 3.2% and 6.1% respectively together with a reduction of unburnt hydrocarbons and Carbon monoxide. In another work [29], they applied monopole technology and deduced that peak pressure increases for each cycle as the magnetic strength was increased. Govindasamy & Dandapani [30] tested the magnetic conditioning of Jatropha Biodiesel on a single cylinder four-stroke diesel engine. Thermal Efficiency increased up to 5% and emission of NO<sub>x</sub> became near zero. Different stages of tests were carried out on a 6 cylinder 4S Perkins marine diesel engine by Clifford et. al. [31], which yielded a reduction of specific fuel consumption up to 3.26%. A reduction of SFC by 15% together with a decrease in emission concentration of CO, HC and NO<sub>x</sub> was obtained by Fatih et. al. [32] when permanent magnets were used on a four-cylinder four-stroke petrol engine. Copper wound electromagnets were mounted on a single cylinder, four-stroke Imex engine by Okoronkwo et. al. [33]. Their research yielded a reduction of UBHC by 50% and carbon monoxide by almost 35%.

The performance and emissions of a single cylinder four-stroke VCR petrol engine was investigated with ignition timing varying between 5 degree and 30 degree bTDC in steps of 5 degrees each by Habbo et. al. [34] using magnetic coils of 1000G and 2000G. Considerable decrease in specific fuel consumption and a significant decrease in exhaust were noted. There was also a fall in exhaust gas temperature up to 8%. Faris et. al. [35] investigated the effect of magnetic field on microstructure of fuel using spectrums. The tests were extended on to a two-stroke spark ignition engine, in which specific fuel consumption showed a reduction up to 14%. Emission of UBHC and CO decreased up to 30% and 40% respectively, but an increase in 10% was noted in carbon dioxide emission.

Both the fuel and airlines of a single cylinder, vertical diesel engine were magnetised using permanent magnets by Jain et. al. [36]. They observed that maximum reduction in fuel consumption was at highest loads when the load is varied from 0 to 10-kg. Two electromagnetic fuel savers with cores made up of plain carbon steel and copper were developed by Siregar and Nainggolan [37] and tested both in laboratory and on road conditions. Copper core was found more effective in inducing magnetic force than steel, though theory proposes the opposite case. Attor et. al. [38] conducted tests on a

stationary diesel engine as well as on board a motor bike with applied magnetic intensities varying from 2000G to 8000G. The mileage of the bike was found to increase about 7kmpl in the on board tests. A major contradiction to the existing results was presented by Ugare et. al. [39] in the case of NO<sub>x</sub> emissions. In their tests using magnetic field value of 5000G, NO<sub>x</sub> was found to increase by 19%. They observed an increase of 1.19% in the calorific value of petrol through magnetic conditioning, but the underlying physics of the phenomenon has not been discussed.

A set of on board experiments were carried on various automobile brands fuelled with magnetically conditioned gasoline by Garg et. al. [40]. All brands showed an improvement in performance and emission characteristics, though the percentage of improvement varied depending on the make of the engine. On an average, mileage increased by 15 to 25%. An increase of 2% in brake thermal efficiency with a reduction of 27% in NO<sub>x</sub> emissions was obtained by Patel et. al. [41] using ferrite magnets of varying intensities. Vijayakumar et. al. [42] used NdFeB magnets of 6000G coated with Ni-Cu-Ni on a single cylinder four-stroke diesel engine. AFR was found to change from 31.38 to 33.8 with a noticeable improvement in performance and emission characteristics.

Patel et. al. [43] made investigations on a diesel engine with the application of magnetic conditioning alongside catalytic convertor. Maximum improvement in performance and emission characteristics was obtained by the combination of both technologies. The amount of CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in the exhaust increased with these modifications. Sala & Notti [44] installed an electromagnetic device on board a fishing vessel. An overall reduction of 4.6% was observed in fuel consumption after the installation of magnetic device. CO reduced by 14.1%, but CO<sub>2</sub> increased by 11.4%. An inspection proved that the injectors of the vessel that used the magnetic device were in a cleaner and better condition. Abdel-Rehim et. al. [45] conducted a series of experiments to explore the effect of magnetic fuel treatment on the performance of combustion engines. Gasoline, diesel and natural gas were tested in two different engines with different configurations under the exposure of magnetic field. Their study concluded that the highest impact of magnetisation was on gasoline fuel compared to the other two fuels.

Kana & Shaija [46] mounted a solenoid electromagnet on the fuel line of a single cylinder diesel engine. Brake thermal efficiency was found to increase by at least 5% and NO<sub>x</sub> emissions reduced by almost 44% in the process. Similar experimental set up and procedure was employed by Chaware et. al. [47] and found an improvement in thermal efficiency of the engine up to 14% while reducing UBHC by 34%, CO and CO<sub>2</sub> by 9% each. Exhaust gas temperature was found to increase with increase in magnetic intensity. Experiments were carried out on board motor cycle engines by Saxena [48] to study the effect produced by magnetisation. Notable reduction in HC and CO emissions was obtained in their work.

Jundale & Patil [49] applied NdFeB magnets on a four-cylinder, four stroke Premier Padmini engine running at a constant speed and observed a reduction of carbon monoxide emissions by 52%, UBHC by almost 14% and NO<sub>x</sub> by 11%. Khedawan & Gaikwad [50] studied the effect of magnetic fields on hydrocarbon-based refrigerant R600 and non-hydrocarbon based R134A for a vapour compression system. Fuel consumption and exhaust concentration reduced for hydrocarbon based R600 upon magnetic conditioning. There was no effect for the magnetic field on non-hydrocarbon based refrigerants. A Mercedes Benz engine fuelled by Iraqi gasoline was magnetised and put under study by Mohammed Al-Rawaf [51]. A reduction of fuel consumption by 5.5% and an increase in brake thermal efficiency up to 13.5% was obtained in this work. Gabina et. al. [52] studied the utility of magnetic devices in increasing the energy efficiency of fishing vessels. They tested three independent magnetic devices on three different compression ignition engines under different operating conditions. Fuel consumption was found to decrease at larger loads in laboratory conditions.

A notable reduction in CO emissions at lower engine speeds was also observed.

Gad [53] conducted experiments on a single cylinder, four-stroke kirloskar diesel engine only at full load and no load conditions. SFC reduced by 3% to 8.5% from no load to full load. CO emission reduced by 10% and 4.5% whereas NO<sub>x</sub> reduced by 13% and 24% respectively. The impact on the performance and emissions of a diesel generator when a magnetic tube is included in the fuel intake was investigated by Chen et. al. [54]. A decrease in specific fuel consumption of 3.5% and an increase of brake thermal efficiency by the same magnitude was observed in their experiments. Kurji and Imran [55] conducted tests on a single cylinder four-stroke CI engine with permanent magnets installed before the injection pump. Fuel consumption reduced up to 15.71% owing to reduced surface tension due to magnetisation. The emissions like CO, HC and NO<sub>x</sub> also reduced significantly.

## CONCLUSIONS

Various works on the effect of magnetic field on hydrocarbon structure, properties, flame behaviour and the effect it produces on the performance and emission characteristics of different types of Internal Combustion engines is comprehensively reviewed. The study shows that a significant improvement is possible in the properties of hydrocarbon fuels up on magnetic treatment. The applied magnetic field, if strong enough, can press back and interfere with the normal flame behaviours. Majority of the research works prove that the performance parameters of an engine like specific fuel consumption and Brake Thermal Efficiency can be improved to a significant level, whereas some works reflect contradicting results in the case of emissions of pollutants like CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> etc. Extensive research in this area can eliminate the existing confusions and explore the implementation of this technique on board automobiles and stationary engines, which can help in minimisation of pollution and fossil fuel utilisation in the future.

## REFERENCES

1. Ueno, S., Harada, K. (1985) "Effect of Magnetic fields on Flames and Gas flow", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. Mag-21, No.5.
2. Ueno, S., Harada, K. (1987) "Combustion Process under strong DC Magnetic Fields", *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. Mag-23, No.5, 2752-2754.
3. Guo, H., Chen, Y., Yao, R. (1986) "A Study of Magnetic effects on the Physicochemical Properties of Individual Hydrocarbons" *IEEE Transactions on Magnetics*
4. Aoki, T., (1989) "Radicals' emissions and Butane Diffusion Flames exposed to Upward-Decreasing Magnetic Fields", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 28, pp 776-785.
5. Wakayama, N., (1992) "Effect of a Gradient Magnetic Field on the Combustion of Methane in Air", *Chemical Physics Letters*, Vol. 188, No. 3, Jan. 1992, pp. 279-281.
6. Baker, J., Varagani, R. (2003) "Models and Experiments of Laminar Diffusion Flames in Non-Uniform Magnetic Fields", *Seventh International Workshop on Microgravity Combustion and Chemically Reacting Systems*, pp 317-320.
7. Morozov, Y., Kuznetsov, M. (1999) "Effect of Magnetic Fields on Combustion Electromotive Force", *Combustion, Explosion and Shock waves*, Vol. 35, pp 18-22.
8. Tao, R. (2004) "Investigate Effects of Magnetic Fields on Fuels", *Department of Physics, Temple University, Philadelphia*.

9. Tao, R., Xu, X. (2006) "Reducing the Viscosity of Crude Oil by Pulsed Electric or Magnetic Field", *Energy & Fuels*, Vol. 20, pp2046-2051.
10. Loskutova, Y., Yudina, N., Pisareva, S. (2008) "Effect of magnetic field on the paramagnetic, antioxidant, and viscosity characteristics of some crude oils", *Petroleum Chemistry*, 48(1):51-55.
11. Evdokimov, I., Kornishin, K. (2009) "Apparent Disaggregation of Colloids in a Magnetically Treated Crude Oil", *Energy & Fuels*, Vol. 23, pp 4016-4020.
12. Legros, G., Gomez, T., Fessard, M., Guibert, P., Torero, J. (2010) "Magnetically induced Flame Flickering", *Proceedings of the Combustion Institute*, 33, pp 1095-1103.
13. Gillion, P., Blanchard, J., Gilard, V. (2010) "Magnetic field influence on coflow laminar diffusion flames", *Russian Journal of Physical Chemistry*, Vol. 4, pp 279-285.
14. Ciabanu, R., Dontu, O., Gheorghe, G., Avarvarci, J., Besnea, J. (2011) "System with Permanent Magnets used for magnetic treatment of fuel fluids", *Proceedings of International Conference on Innovations, Recent trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-tech Products Development*, Vol. 3, pp 211-214.
15. Uguru-Okorie, D., Dare, A. (2013) "Combustion Enhancers in Diesel Engines: Magnetic Field Option", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 5, pp 21-24.
16. Attar, A., Bhojwani, V., Deshmukh, S. (2013) "Effect of Magnetic Field strengths on Hydrocarbon fuel viscosity and Engine Performance", *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*, Vol.1, pp 94-98.
17. Ugare, V., Bhave, N., Lutande, S. (2013) "Performance of Spark Ignition Engine under the influence of Magnetic Field", *International Journal for Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, Vol.1, pp 36-43.
18. Jalali, M., Ahmadi, M., Yadaei, F., Azimi, M., Hoseini, H. (2013) "Enhancement of Benzine Combustion Behaviour in Exposure to the Magnetic Field", *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 1, No. 3, pp 224-227.
19. Kumar, M., Agarwal, S., Kumar, V., Khan, G., Shakher, C. (2015) "Experimental investigation on butane diffusion flame under the influence of magnetic field by using digital speckle pattern interferometry," *Applied Optics*, 54(9), pp2450-2460.
20. Agarwal, S., Kumar, M., Shakher, C. (2015) "Experimental investigation of effect of magnetic field on temperature and temperature profile of diffusion flame using circular grating Talbot interferometer", *Optics and Lasers in engineering*. 68, 214-221.
21. Elamin, A., Ezeldin, M., Masaad, A., Suleman, N. (2015) "Effect of Magnetic Field on Some Physical Characteristics and Cetane Number of Diesel Fuel", *American Journal of Applied Chemistry*, Vol. 3, pp 212-216.
22. Singh, A. (2015) "Measurement of fuel flow behaviour of Propane Diffusion Flame by Dimensionless Numbers under Magnetic Field Application", *International Journal of Combined Research and Development*, Vol. 4, pp 585-586.
23. Wu, W., Qu, J., Zhang, K., Chen, W., Li, B. (2016) "Experimental Studies of Magnetic Effect on Methane Laminar Combustion Characteristics", *Combustion Science & Technology*, Vol. 188, pp 472-480.
24. Barmina, I., Zake, M. (2016) "Effects of Magnetic Field on Swirling Flame Dynamics", *Engineering for Rural development*, Jelgava.
25. Barmina, I., Zake, M. (2017) "Magnetic Field Control of Combustion Dynamics", *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences* Vol. 53(4) pp 36-46.
26. Stamps, R., Williams, A. (1992) "Combustion Efficiency Improvement Device", US Patent 5129382A.

27. Saksono, N. (2005) "Magnetising Kerosene for Increasing Combustion Efficiency", *Jurnalteknologi*, Edisi No. 2, pp 155-162.
28. Govindasamy, P., Dhandapani, S. (2007) "Performance and Emission Achievements by Magnetic Energizer with a single Cylinder Two Stroke Catalytic Coated Spark Ignition Engine", *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol.66, pp. 457-463.
29. Govindasamy, P., Dhandapani, S. (2007) "Experimental Investigation of Cyclic Variation of Combustion Parametres in Catalytically Activated and Magnetically Energised Two-Stroke SI Engine", *Journal of Energy and Environment*, Vol. 6, pp 45-59.
30. Govindasamy, P., Dhandapani, S. (2007) *Proceedings of GMSARN International Conference on Sustainable Development: Challenges and Opportunities for GMS*.
31. Clifford, T. (2008) "Determinations of the effect of (electro-) magnetic installations, a fuel additive and a lubricant additive on diesel fuel consumption", *Executive Report for The Sea fish Industry Authority*, pp 1-64.
32. Fatih, F., Saber, G. (2010) "Effect of fuel Magnetism on Engine Performance and Emissions", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 4, pp 6354-6358.
33. Okoronkwo, C., Nwachukwu, C., Ngozi-olehi, L., Igbokwe, J. (2010) "Effect of Electromagnetic Flux Density on the Ionisation and the Combustion of Fuel", *American Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol.1(3), pp 527-531.
34. Habbo, A., Khalil, R., Hammoodi, H. (2011) "Effect of Magnetising the fuel on the Performance of an S. I. Engine", *Al-Rafidain Engineering Journal*, Vol. 19, pp 84-90.
35. Faris, A., Saadi, K., Jamal, N., Isse, R., Abed, M., Fouad, Z., Kazim, A., Reheem, N., Chaloob, A., Mohammed, H., Jasim, H., Sadeq, J., Salim, A., Abas, A. (2012) "Effect of Magnetic Field on Fuel Consumption and Exhaust Emissions in two-stroke Engine", *Energy Proceedia*, Vol. 18, pp 327-338.
36. Jain, S., Deshmukh, S. (2012) "Experimental Investigation of Magnetic Fuel Conditioner in IC Engine", *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 2, pp 27-31.
37. Siregar, H., Nainggolan, R. (2012) "Electromagnetic Fuel saver for Enhancing the Performance of the Diesel Engine", *Global Journal of Researches in Engineering, Mechanical and Mechanics Engineering*, Vol. 12.
38. Attar, A., Bhojwani, V., Deshmukh, S. (2013) "Effect of Magnetic Field strengths on Hydrocarbon fuel viscosity and Engine Performance", *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*, Vol.1, pp 94-98.
39. Ugare, V., Bhave, N., Lutande, S. (2013) "Performance of Spark Ignition Engine under the influence of Magnetic Field", *International Journal for Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, Vol.1, pp 36-43.
40. Srihari, K., & Reddy, C. K. (2014). *Effects of Soret and Magnetic Field on Unsteady Flow of a Radiating and Chemical Reacting Fluid: A Finite Difference Approach*. *International Journal of Mechanical Engineering*, 3(3).
41. Garg, R., Agarwal, A. (2013) "Fuel Energizer: The Magnetizer(A Concept of Liquid Engineering) ", *International Journal of Innovative Research & Development*, Vol. 2, pp 617-627.
42. Patel, P., Rathod, G., Patel, T. (2014) "Effect of Magnetic Field on Performance and Emission of Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine", *IOSR Journal of Engineering*, Vol 4, pp 28-34.
43. Vijayakumar, P., Patro, S., Pudi, V. (2014) "Experimental Study of a Novel Magnetic Fuel Ionization Method in Four Stroke Diesel Engines", *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol. 3, pp 151- 159.

44. Patel, P., Rathod, G., Patel, T. (2014) "Effect of Magnetic Field on Performance and Emission of Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine", *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 4, pp 28-34.
45. Sala, A., Notti, E. (2014) "Preliminary Tests of New Magnetic Device for Fuel Saving and Emission Reduction in Fisheries", *Third International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency*, pp 1-5.
46. Abdel-Rehim, A., Attia, A. (2014) "Does Magnetic Fuel Treatment affect Engine's Performance?", *SAE Technical Paper 2014-01-1398*.
47. Kana, R., Shaija, A. (2015) "", *Proceedings of XXIV NCICEC*, pp 17-21.
48. Chaware, K., Basavaraj, M. (2015) "Effect of Fuel Magnetism by varying intensity on Performance and Emission of single cylinder four stroke Diesel Engine", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 2, pp 1121-1126.
49. Saxena, K. (2015) "A Case study on Reduction of Harmful Emissions from Exhaust in IC Engines", *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering*, Vol.3, pp 21-22.
50. Jundale, V., Patil, D. (2015) "Analysis of Fuel and Exhaust gases of SI Engine by using Magnet", *International Journal of Science and Technology*, Vol. 3, pp 155-159.
51. Khedvan, A., Gaikwad, V. (2015) "Review on Effect of Magnetic Field on Hydrocarbon Refrigerant in Vapour Compression Cycle", *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, Vol. 4, pp 1374-1378.
52. Al-Rawaf, M. (2015) "Magnetic Field Effects on Spark Ignition Engine Performance and its Emissions at High Engine Speeds", *Journal of Engineering and Development*, Vol. 19, pp 37-48.
53. Gabina, G., Basurko, O., Notti, E., Sala, A., Aldekoa, S., Clemente, M., Uriondo, Z. (2016) "Energy Efficiency in Fishing: Are Magnetic devices useful for use in Fishing Vessels?", *Applied Thermal Engineering*, 94, pp 670-678.
54. Gad, M., Farrang, A. (2016) "Effect of Fuel Magnetism on Industrial Oil Burner Performance Burning Waste Cooking Oil", *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 16, pp 25-37.
55. Chen, C., Lee, W., Mwangi, J., Wang, L., Lu, J. (2017) "Impact of Magnetic tube on Pollutant Emissions from the Diesel Engine", *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 17, pp 1097-1104.
56. Necib, D., & Bouchoucha, A. *Influence of the Magnetic Field on the Morphology of the Wear of the Insert in P25 Carbide without Lubrication*.
57. Kurji, H., Imran, M. (2018) "Magnetic Field Effect on CI Engine Performance", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 13, pp 3943-3949.