

**CERCETĂRI TEORETICE
ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND
REDUCEREA EMISIILOR DE NO_x
APLICAȚIE LA LOCOMOTIVA
DIESEL HIDRAULICĂ LDH 125
MODERNIZATĂ**

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE MECANICĂ
de către

Ing. Ramon-Mihai Balogh

Conducător științific:
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing. habil Ioana IONEL
prof.univ.dr. ing. Liviu Sevastian BOCÎI
prof.univ.dr. Daniel VIZMAN
conf.univ.dr.ing. Eugen GHITA

Ziua susținerii tezei: 24.09.2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 8. Inginerie Industrială |
| 2. Chimie | 9. Inginerie Mecanică |
| 3. Energetică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 4. Ingineria Chimică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 5. Inginerie Civilă | 12. Ingineria sistemelor |
| 6. Inginerie Electrică | 13. Inginerie energetică |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 14. Calculatoare și tehnologia informației |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2011

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi al Universității „Politehnica” din Timișoara, în perioada octombrie 2008 – septembrie 2011. Activitatea de cercetare s-a desfășurat în laboratorul de locomotive a Facultății de Mecanică, în laboratorul CEEC (Combustion Engine and Emission Control) al Facultății de Științe Aplicate din Regensburg, în unitățile de exploatare și reparare a materialului rulant de cale ferată motor precum și în exploatarea feroviară.

Lucrarea urmărește determinarea concentrațiilor de NO_x de la motoarele diesel ce echipează utilaje de mare putere și reducerea acestor emisii prin aplicarea de sisteme moderne de denoxare, în acest caz de sistem de reducere catalitică selectivă (SCR), dar și determinarea emisiilor de NO_x provenite de la motoarele diesel ce echipează locomotivele diesel hidraulice LDH 125 și LDH 125 modernizată în diferite regimuri de testare (statice și dinamice) și in situ pe locomotive pe secții de circulație feroviară.

Ca și concluzie generală a lucrării sunt demonstrate teoretic și experimental avantajele utilizării sistemului de reducere catalitică selectivă pentru emisiile poluante de genul NO_x bazate pe experimente precum și necesitatea utilizării acestor sisteme pentru reducerea concentrației de NO_x provenite de la motoarele diesel ce echipează locomotivele diesel hidraulice studiate, aflate în exploatarea feroviară.

Datorită faptului că în cele mai multe cazuri simulările teoretice nu pot cuprinde toate situațiile reale, în cadrul acestei teze s-a pus accentul pe efectuarea cercetărilor experimentale pe ștandul de încercări în condiții reale de funcționare și în exploatarea feroviară.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat Prof. dr. ing. habil Ioana IONEL care mi-a acordat tot sprijinul cu profesionalism, pe toată perioada stagiului de doctorat, pentru îndrumarea și coordonarea competentă pe parcursul derulării tezei de doctorat.

Îmi exprim recunoștința față de domnul profesor Prof. univ. dr. ing. Liviu Sevastian BOCÎI de la Universitatea “Aurel Vlaicu” din Arad, domnul Prof. univ. dr. Daniel VIZMAN de la Universitatea de Vest din Timișoara și domnul Conf. univ. dr. ing. Eugen GHITA de la Universitatea “Politehnica” din Timișoara care mi-au revizuit lucrarea cu profesionalism, având astfel posibilitatea de a o perfecționa.

Un cuvânt de mulțumire se cuvine și domnului prodecan Prof. univ. dr. ing. Dumitru ȚUCU în calitate de președinte al comisiei de susținere a tezei de doctorat.

Mulțumesc pe această cale colegilor din cadrul catedrei de Ingineria Transporturilor, din cadrul Departamentului de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi cât și din Facultatea de Mecanică.

Nu în ultimul rând, îmi exprim recunoștința față de familia și prietenii mei ce mi-au fost alături, sprijinindu-mă de-a lungul perioadei de formare și realizare profesională

Timișoara, 24 septembrie 2011

ing. Ramon-Mihai BALOGH

Pentru suportul acordat mulțumesc **Proiectului strategic ID 6998, Contract POSDRU/6/1.5/S/13**, Proiect cofinanțat din fondul structural european prin programul operațional sectorial dezvoltarea resurselor umane 2007-2013, Investește în oameni!.

Familiei mele și tuturor care mi-au acordat sprijin pentru elaborarea și finalizarea tezei

BALOGH, Ramon-Mihai

CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND REDUCEREA EMISIILOR DE NO_x. APLICAȚIE LA LOCOMOTIVA DIESEL HIDRAULICĂ LDH 125 MODERNIZATĂ

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 98, Editura Politehnica, 2011, 200 pagini, 187 figuri, 20 tabele.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-606-554-342-3

Cuvinte cheie:

poluare chimică, motoare diesel, sistem de reducere catalitică selectivă, metode active și pasive pentru reducerea emisiilor poluante, exploatare feroviară,

Rezumat,

Cercetarea se referă la studiul poluării chimice generate de transporturile feroviare. Se indică și o tehnologie de reducere a emisiilor de NO_x pentru motoarele cu ardere internă ce echipează vehiculele feroviare. Obiectivele cercetării urmăresc găsirea unor noi soluții tehnice în scopul reducerii poluării chimice datorate exploatării vehiculelor feroviare motoare cu scopul îmbunătățirii calității aerului în zonă. Prin capitolele sale, lucrarea abordează interdisciplinar o cercetare bazată pe studiul surselor de poluare chimică și al efectelor asupra sănătății umane și mediului. Se abordează critic stadiul actual al cunoașterii legat de metodele de reducere a emisiilor atât prin metode primare cât și secundare.

Cercetarea experimentală s-a realizat cu referire la emisia de NO_x pe două standuri de laborator, modernizate, și in situ, pe un motor diesel funcționând. Pe standul de laborator s-au aplicat cicluri în regim static și dinamic pe motorul diesel echipat cu sistem de reducere a emisiilor de NO_x de tip RCS (**R**educere **C**atalitică **S**electivă). Pe al doilea s-au realizat măsurători în regim static în condiții de laborator. Setul al treilea de măsurători reprezintă rezultatele obținute în exploatare pe locomotivele diesel, în condiții reale de trafic feroviar, pe două secții importante de circulație, pe o locomotivă diesel hidraulică LDH 125 modernizată. Concluziile lucrării evidențiază necesitatea modernizării grupului diesel de pe locomotive având în vedere importanța și dezvoltarea sistemului feroviar și a faptului că emisiile de oxizi de azot (care sunt precursori ai ploilor acide și formării de ozon de joasă altitudine) contribuie în pondere considerabilă la poluarea generală a atmosferei, în zone urbane, periurbane și interurbane, nemaiașintind și nodurile de cale ferată, triajele și complexele feroviare.

CUPRINS

1. CONSIDERAȚII GENERALE	8
1.1 Istoric	8
1.1.1 Istoric al evoluției transportului feroviar în Comunitatea Europeana și România.....	8
1.1.2 Dezvoltarea transportului feroviar în RO.....	13
1.1.3 Ponderea tracțiunii electrice și diesel în transportul feroviar în România	19
1.1.4 Contextul Comunității Europene (CE) privind transportul feroviar cu viziune până în 2050.....	25
1.1.5 Concluzii	27
1.2 Scopul lucrării și necesitatea cercetării în domeniu	28
2. EMISIILE MOTOARELOR DIESEL	31
2.1 Generalități	31
2.1.1. Ecologie și poluare.....	31
2.1.2. Directiva 96/61/EC privind prevenirea și controlul integrat al poluării (IPPC).....	31
2.1.3. Tehnicile BAT pentru emisiile specifice procesului de generare a energiei.....	32
2.1.3.1. Emisiile de particule	32
2.1.3.2. Emisia de oxizi de azot (NO _x)	32
2.1.3.3. Emisia de dioxid de sulf	32
2.1.3.4. Metalele grele.....	32
2.2. Standarde ale Comunității Europene (CE) și din România (RO) privind măsuri legislative de protecția mediului.....	33
2.3. Principalele emisii poluante și/sau cu efect de seră	37
2.3.1. Generalități privind principalele emisii poluante și/sau cu efect de seră	37
2.3.2. Efectele nocive ale oxizilor de carbon	38
2.3.3. Efectele nocive ale oxizilor de carbon	39
2.3.4. Efectele nocive ale oxizilor de azot.....	41
2.3.5. Efectele nocive ale hidrocarburilor	42
2.3.6. Efectele nocive ale compușii organici volatili (COV)	43
2.3.7. Efectele nocive ale particulelor	44
2.3.8. Ozonului și peroxiacetil-nitratul (PAN)	45
2.3.9. Efectele nocive ale compușilor cu sulf.....	45
2.3.10. Efectele nocive ale smogului fotochimic	46
2.3.11. Plumbul	47
2.4. Stadiul actual al emisiilor de noxe	48
2.4.1. Evaluare prin calcul.....	48
2.4.1.1. Aprecieri teoretice	48
2.4.1.2. Cazul arderii unui singur combustibil (cel de bază)	48

3. FORMAREA COMPUSILOR NO_x. CERCETARI TEORETICE PRIVIND EMISIA DE NO_x SI POSIBILITATEA DE REDUCERE A LOR	52
3.1 Poluanții și originea lor.....	52
3.2. Oxizii de azot (NO și NO ₂)	53
3.2.1. Formarea oxizilor de azot (NO și NO ₂)	53
3.2.2. Oxizi de azot (NO _x)	54
3.3. Soluții pentru limitarea emisiilor de noxe.....	57
3.3.1. Generalități privind limitarea emisiilor de noxe	57
3.3.2. Metode active de reducere a emisiilor poluante	57
3.3.2.1. Reducerea conținutului de compuși aromatici	57
3.3.2.2. Folosirea biocombustibililor	58
3.3.3. Metode pasive de reducere a emisiilor poluante.....	59
3.3.3.1. Sistem de recirculare al gazelor de evacuare (EGR).....	59
3.3.3.2. Îmbunătățirea sistemului de injecție.....	60
3.3.3.3. Utilizarea camerei de ardere stratificată	61
3.3.4. Metode pasive de reducere a emisiilor poluante.....	62
3.3.4.1. Generalități privind metodele pasive de reducere a emisiilor poluante	62
3.3.4.2. Oxidatorul catalitic (DOC)	63
3.3.4.3. Catalizatorul de stocare - NO _x	63
3.3.4.4. Catalizatorul selectiv de reducere (Selective Catalytic Reduction – SCR).....	64
3.3.4.5. Bazele tehnologiei SCR	65
3.3.4.6. Reducerea noncatalitică selectivă.....	68
3.3.4.7. Filtre de particule	69
4. CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND POSIBILITATEA REDUCERII EMISIILOR DE NO_x.....	71
4.1. Principiul de funcționare și prezentarea generală a standurilor Utilizate.....	71
4.2. Structura standului specializat de încercări din laboratorul CEEC..	71
4.2.1 Motorul diesel.....	71
4.2.2. Dinamometrul tip Schenk.....	72
4.2.3. Sistemul de evacuare	73
4.2.4. Dispozitivul pentru măsurarea concentrației de noxe în puncte.....	74
4.2.5. Sistemul de injecție de AdBlue.....	74
4.2.6. Proiectarea și amplasarea punctelor de măsurare în sistemul de evacuare	75
4.2.7. Simularea curegerii gazelor în sistemul de evacuare în program AVL FIRE v2009.3	76
4.2.8 Configurarea sistemului de evacuare pe baza rezultatelor modelării	79
4.3. Locomotive diesel hidraulice aflate în exploatarea feroviară din România	85
4.3.1. Locomotiva diesel hidraulică LDH 125.....	85
4.3.2. Locomotiva diesel hidraulică de 1000 kW	88
4.3.3. Elemente de modernizare aplicate în practica de exploatare feroviara din Romania.....	90

4.4. Instrumente și sisteme de monitorizare a emisiilor motoarelor diesel montate pe locomotive	91
4.4.1. Senzorii de măsurare a temperaturii.....	91
4.4.2. Sistemul de achiziție de date.....	95
4.4.2.1. Convertorul analogic digital Pixsys ATR 243 ABC..	95
4.4.2.2. Programul de achiziție de date.....	99
4.4.3. Descrierea analizorului de gaze tip TESTO 350 M/XL	103
4.4.4. Descrierea aparatului de măsură a emisiilor de NO _x	111
4.5. Realizarea unor regimuri de lucru stabile conform normelor în vigoare, opțiuni cicluri de funcționare	112
5. STUDII TEORETICE ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND REDUCEREA EMISIILOR DE NO_x	114
5.1. Rezultatele măsurătorilor pe motorul diesel echipat cu sistem SCR	114
5.1.1. Stabilirea ciclului de funcționare NRTC	114
5.1.2. Determinarea nivelului emisiilor de NO _x al motorului diesel	116
5.1.3. Teste în ciclu NRTC pe motorul echipat cu sistem SCR	118
5.1.4. Teste în cicluri NRSC pe motorul echipat cu sistem SCR.....	120
5.1.5. Test de variație a coeficientului de dozare α ($\alpha = \text{NH}_3/\text{NO}_x$).	122
5.2. Măsurători pe locomotive diesel hidraulice aflate în exploatarea feroviară	123
5.2.1. Măsuratori în regim static efectuate pe locomotiva LDH 125	123
5.2.2. Măsuratori în regim static efectuate pe locomotiva LDH 125 modernizată (Caterpillar).....	125
5.2.3. Măsurători în regim dinamic, pe diferite secții de circulație, la locomotiva diesel hidraulice LDH 125 modernizată Caterpillar....	127
6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE DESPRINSE DIN CERCETARE	171
6.1. Concluzii generale	171
6.2. Concluzii punctuale.....	171
6.3. Contribuții teoretice și experimentale	178
6.3.1. Contribuții teoretice	178
6.3.2. Contribuții experimentale.....	179
6.4. Originalitatea cercetării (noutati aduse prin cercetare)	179
LISTĂ FIGURI	181
LISTĂ TABELE	186
NOTAȚII	187
BIBLIOGRAFIE	190
INDEX	196

1. CONSIDERAȚII GENERALE

1.1. Istoric

1.1.1. Istoric al evoluției transportului feroviar în Uniunea Europeană (UE) și în România

Apărut odată cu revoluția industrială, transportul feroviar a cunoscut o creștere foarte mare și s-a dezvoltat începând cu secolul XIX datorită nevoii de materii prime și materiale, lucruri care cereau crearea unor mijloace de transport cu capacități mai mari, mai puternice, sigure în exploatare și care să realizeze viteze sporite.

Transportul feroviar realizează deplasarea bunurilor materiale, indiferent de felul acestora, de la furnizor la beneficiar, asigurând în acest fel buna desfășurare a activităților de producție din industrie și din agricultură, facilitează legătura dintre diferitele regiuni ale unei țări/continent, transportul de persoane etc. Acest mod de transport a făcut posibilă dezvoltarea economiei mondiale, a comunităților umane precum și creșterea nivelului de civilizație și integrarea în sisteme generale informaționale [25].

Primul pas în dezvoltarea transportului feroviar, și nu numai, îl constituie inventarea în anul 1765, de către James Watt a primei mașini cu abur, cu motor cu simplu efect, iar în 1762 a mașinii cu abur cu piston cu dublu efect, care obținea mișcarea de rotație continuă a unui arbore motor. De la acest motor cu abur, în 1803, Richard Trevithick a realizat prima locomotivă cu abur din lume, utilizând o mașină cu abur de înaltă presiune așezată pe un șasiu cu roți, care avea bandaje netede și rula pe șine de metal. Din acest an, inventatorii au căutat să dezvolte noul vehicul care să corespundă noilor condiții de dezvoltare a societății. Drept urmare, acest moment a fost considerat ca anul nașterii locomotivelor, a căilor ferate și a trenurilor. În 25 septembrie 1825 a circulat primul tren. Acesta avea în compunere o locomotivă cu abur, Locomotion nr.1 (figura 1.1) construită de George Stephenson, un vagon acoperit și 33 de vagoane descoperite, pe ruta Stockton - Darlington și a circulat cu viteza maximă de 24 km/h [65].

Ca un lanț trofic, dezvoltarea transportului feroviar a avut ca și consecință înființarea a numeroase fabrici constructoare de locomotive care au fost un mare consumator de prefabricate al oțelărilor, industriei materialelor feroase și neferoase. Performanțele locomotivelor cu abur au fost îmbunătățite permanent, în evoluția acestora putând fi remarcată o adevărată specializare și anume construcția locomotivelor puternice pentru remorcarea trenurilor grele și construcția locomotivelor de viteză pentru trenurile de călători.



Figura 1.1. Locomotiva Locomotion nr. 1 [62]

Vagoanele remorcate de aceste locomotive au fost de forma unei trăsurii compartimentate cu acces la peron din fiecare compartiment. Ulterior acestor vagoane le-au fost introduse culoare laterale și li s-au creat la capete vestibule. Compunerea trenurilor a fost de la începuturi una distinctă, trenuri cu vagoane de călători pentru transportul persoanelor și trenuri de marfă pentru transportul mărfurilor, rar întâlnindu-se trenuri cu compunere mixtă. Compunerea trenurilor de marfă diferea datorită încărcăturii transportate, fiind formată din vagoane specializate: platforme pentru mărfuri care nu necesită protecție pe timpul transportului, gondole pentru mărfuri în vrac, vagoane închise pentru mărfuri care necesită protecție împotriva intemperiilor sau a sustragerilor, cisterne pentru produse lichide, basculante cu benă-jgheab pentru lemnărie lungă, izoterme, frigorifice, vagoane pentru containere, vagoane speciale pentru produse pulverulente sau granulare, macarale etc. Capacitatea de încărcare a acestor vagoane a fost de mai puțin de 10 t până în 1886, de 15 t în anul 1898, ca în 1911 capacitatea acestora să fie de 20 t, dublă față de cea inițială. În compunerea trenurilor de călători diferențele apar în funcție de distanțele parcurse, rangul acestora, alocarea pe parcursul unei zile (tren de zi sau de noapte). Astfel, în componența acestora sunt introduse furgoanele de bagaje și vagonul poștă pentru transportul bagajelor, coletelor și corespondenței, vagoanele de dormit (introduse la căile ferate americane de către George Mortimer-Pullman, iar în Europa de către Georges Nagelmacker), vagoanele restaurant etc [66].

Perfecționarea și diversitatea locomotivelor cu abur s-a făcut atât în funcție de felul trenurilor remorcate (călători, mărfuri, mixte), pentru activitatea de manevră din depouri, stații și complexe feroviare (traje) cât și în funcție de ecartamentul căii ferate:

- căi ferate normale (ecartament 1435mm) în țările europene, asiatice și africane;
- căi ferate cu ecartament lărgit, de 1524 mm, specific Rusiei, Ucrainei, Mongoliei și Chinei;
- căi ferate cu ecartament lărgit, de 1676 mm, specific Spaniei, Indiei, Americii de Nord și Americii de Sud;

10 Considerații generale - 1

- căi ferate cu ecartament îngust (700-1200 mm), în zonele montane.
Cerința de viteză s-a manifestat încă de la începuturile tracțiunii feroviare, consecința permanentei perfecționări fiind realizarea locomotivelor *perfecte* pentru:
 - *viteză* - în anul 1938 o locomotivă englezească a atins viteza maximă de 202,7 km/h remorcând un tren de 244 tf pe ruta Grantham-Tallington, Anglia;
 - *putere/tonaj remorcat* - pe data de 5 septembrie 1941 a fost livrat către căile ferate americane primul exemplar al celei mai puternice locomotive cu abur construite vreodată (figura 1.2). Denumită *Big Boy*, acest colos dezvoltă o putere de 10.000 CP, avea o lungime de 40 m și o greutate proprie de 541 tf [70].



Figura 1.2. Locomotiva *Big Boy* [63]

Datorită randamentului scăzut al motoarelor cu abur (10-14 %) și a poluării excesive, cercetătorii și-au orientat atenția către o nouă descoperire a revoluției industriale, și anume motorul cu ardere internă. Inventat în anul 1892 de către Rudolf Diesel și patentat la data de 23 februarie 1983, motorul diesel avea să succedă motoarelor cu abur în tracțiunea feroviară. Aceste motoare erau preferate în locul motoarelor pe abur datorită randamentului care era net superior (40 %), poluării atmosferice mult mai mici, volumului ocupat pe vehicul, reducerii diferitelor operații tehnologice etc.

Prima locomotivă diesel a fost construită de firma elvețiană Sulzer Wintertur în 1912. Rusia, Ucraina și alte state sovietice (1934) dar și francezii (1936) au introdus aceste locomotive la remorcarea trenurilor de mare viteză. În Europa și SUA, motoarele diesel erau folosite la echiparea automotoarelor aerodinamice pentru transportul de călători. Bazele trenurilor de mare viteză au fost puse din anul 1942 când spaniolii Alejandro Goicoechea Omar și José Luis Oriol au creat trenul automotor de viteză TALGO [85]. Trenul TALGO (figura 1.3) avea în componere vagoane de călători de lungime mică a căror parte frontală se sprijinea pe vagonul ce îl preceda iar spatele acestuia se sprijinea pe două semiosii independente.



Figura 1.3. Trenul TALGO [58]

Recordul mondial de viteză al motoarelor termice a fost atins în anul 1972 de către turbotrenul TGV pe relația Lamothe-Morceaux, Franța, atingând viteza maximă de 318 km/h.

Recordul de putere este deținut de SUA, unde în perioada 1969 - 1970, compania *General Motors* construiește cea mai puternică locomotivă diesel-electrică din lume, *Centennial* [69]. Aceasta avea (figura 1.4) o lungime de peste 30 m, puterea maximă 6.600 CP și putea atinge o viteză de 145 km/h. Capacitatea rezervoarelor este corespunzătoare dimensiunilor unei astfel de locomotive: 32 m³ combustibil, 6 m³ apă, 5.000 l ulei și 2 tone nisip[65].



Figura 1.4. Locomotiva Centennial [68]

Punctul maxim în ceea ce privește tracțiunea feroviară îl constituie apariția motoarelor electrice. Tracțiunea electrică a fost experimentată încă din secolul XIX fiind utilizată la începuturi în Italia, Germania, Elveția, Spania și SUA, folosindu-se

12 Considerații generale - 1

curentul continuu și alternativ trifazat. În Europa și în SUA, tracțiunea în curent continuu s-a răspândit după cel de-al doilea Razboi Mondial.

De-a lungul istoriei, dintre toate modalitățile de transport inventate și realizate, cea mai rapidă dezvoltare a cunoscut-o transportul feroviar. Calea ferată apare în primele decenii ale secolului al XIX-lea, impunându-se treptat dar într-un ritm accelerat în aproape toate țările lumii (8640 km la mijlocul secolului al XIX, ajungând la 794 000 km în jurul anului 1900) [66].

La începutul secolului XX transportul feroviar devine cel mai important mod de transport terestru atât pentru persoane cât și pentru mărfuri. Materialul rulant utilizat până în prezent a cunoscut cea mai mare diversificare comparativ cu orice alt mijloc de transport, datorită și evoluției tehnicii care s-a reflectat în performanțele vehiculelor feroviare.

În figura 1.5 respectiv figura 1.6 sunt prezentate grafic evoluția transporturilor începând cu mijlocul secolului al XIX-lea, până în anul 1990. În această perioadă orice tip de călătorie era foarte incomodă, periculoasă și de durată iar transportul mărfurilor întâmpina provocări și mai mari. Barierele distanțelor au fost sparte de transportul pe apele interioare, inclusiv canale, inclusiv dar transportul feroviar mecanizat a realizat diferența majoră în ceea ce privește viteza și cantitatea transportată. Saltul celor două modalități de transport a fost posibil datorită invenției motorului cu abur și implicit automatizării acestor mijloace de transport, lucru posibil datorită adaptabilității gabaritice a vehiculului pentru montarea motorului. Transportul feroviar a dus la dezvoltarea transportului rutier în prima parte a secolului XX, cea mai mare expansiune a acestuia fiind observată în anul 1945. O dată cu motorizarea, transportul aerian urmează îndeaproape pe cel rutier, acesta permițând călătoriile la distanțe mari într-un timp scurt. În cazul transportului de marfă lider este transportul cu nave maritime și oceanice, a căror capacitate de încărcare depășește orice alt mijloc de transport iar distanțele parcurse sunt de ordinul miilor de kilometri [100].

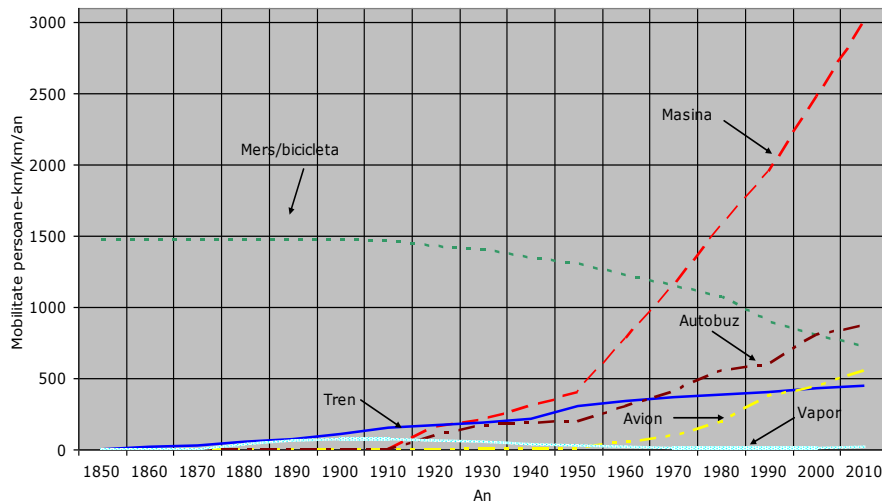


Figura 1.5. Mobilitatea globală a persoanelor în perioada 1850-1990 [56, 100]

Capacitatea de transport călători și marfă a continuat să crească datorită creșterii numărului de vehicule și nave construite, creșterii numărului de linii

terestre/aeriane/maritime de transport dar și a capacității de încărcare a acestora. În anul 1990 aproximativ un trilion de persoane călătoreau și 5 trilioane tone de marfă erau transportate cu trenul în timp ce în 2003 numărul călătorilor a crescut la 1,5 trilioane iar cantitatea de marfă transportată a ajuns la un total de circa 7 trilioane tone [79].

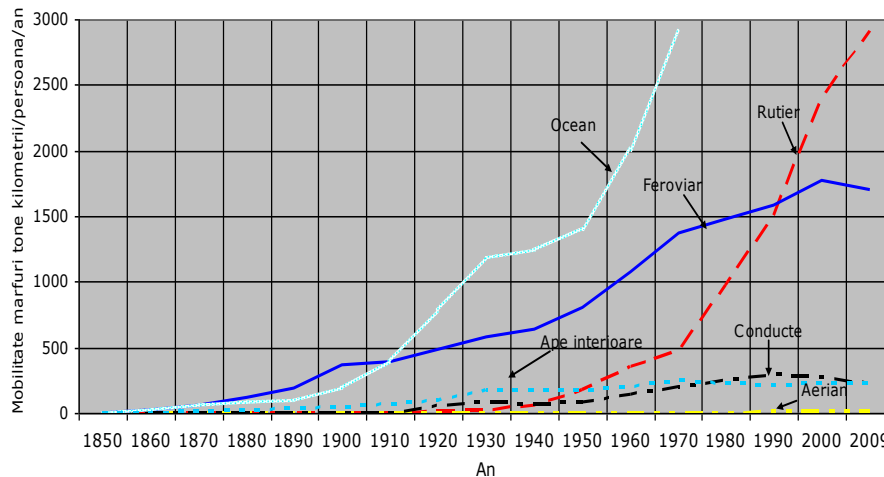


Figura 1.5. Mobilitatea globală a mărfurilor în perioada 1850-1990 [56, 100]

Din punct de vedere tehnic, organizatoric și social calea ferată reprezintă cel mai complex sistem de transport existent la ora actuală. Transportul pe calea ferată deține cea mai mare pondere în *sistemul unitar de transport* la nivel național, respectiv internațional.

1.1.2. Dezvoltarea transportului feroviar în România

Prima cale ferată construită pe teritoriul României a fost Oravița-Buziaș, dată în exploatare la 20 august 1854 de către Societatea Căilor Ferate Austriece Steg. În perioada 1857-1868 sunt construite căi ferate în Banat și în Transilvania de către Societățile Particulare ale Căilor Ferate din jurul Tisei, de Societatea pe Acțiuni a Căilor Ferate din Ardeal și de aceeași societate austriacă Steg.

În Țara Românească prima cale ferată, București-Filaret, este construită în anul 1869 de către Societatea Barkley, iar în Moldova, în anul 1869 Societatea Ofenheim construiește linia Suceava-Roman. Primul pas spre unificarea căilor ferate din România s-a făcut la 23 aprilie 1880 prin promulgarea și publicarea în Monitorul Oficial a Decretului regal 1248, semnat de Carol I. Prin numai două articole, decretul consfințea crearea autorității de stat sub denumirea de Direcțiunea Princiară a Căilor Ferate Române. Noua administrație cuprindea societățile feroviare din Țara Românească și Moldova care, în funcție de capital, au fost răscumpărate sau naționalizate [2].

Administrația Căilor Ferate Române a funcționat sub mai multe denumiri [90]:

- Direcțiunea Princiară a Căilor Ferate (1880-1881);
- Direcțiunea Regală CFR (1881-1883);

14 Considerații generale - 1

- Direcția Generală CFR (1883-1927 și 1927-1948);
- Subsecretariatul de Stat al Căilor Ferate (1927);
- Departamentul Căilor Ferate (1948-1957, 1958-1965 și 1969-1991);
- Ministerul Căilor Ferate (1953-1957 și 1965-1969);
- Societatea Națională a Căilor Ferate (01.08.1991-01.10.1998);
- Compania Națională a Căilor Ferate (01.10.1998-prezent).

Un rol important în integrarea pieței interne și sprijinirea punerii în valoare a poziției geografice a României ca zonă de tranzit, aflată la intersecția mai multor coridoare de transport transeuropene, o reprezintă dezvoltarea infrastructurii de transport. Poziția geografică a României influențează aportul investițiilor în infrastructură și în serviciile din domeniul transporturilor. Dezvoltarea infrastructurii de transport va spori accesibilitatea regiunilor mai puțin dezvoltate, atât la zone situate în interiorul cât și în afara granițelor țării, îmbunătățind astfel flexibilitatea pieței forței de muncă și competitivitatea economică a regiunilor ce beneficiază de proiecte de dezvoltare.

Avantajul major al infrastructurii de transport pe teritoriul național îl reprezintă distribuirea sa relativ armonioasă. Este însă necesară demararea unor acțiuni susținute pentru a dezvolta transportul multimodal, care să permită transportul materiilor prime și al mărfurilor la costuri scăzute [111]. Ca urmare, prioritatea o constituie stabilirea unui echilibru între transportul feroviar, respectiv cel rutier sau naval (maritim și fluvial) prin interconectarea lor. Astfel se speră eficientizarea în privința costurilor de transport, mai ales pe distanțe medii și lungi, o reducere a poluării mediului precum și o siguranță mai mare datorită transportului pe calea ferată [107, 113].

În cadrul procesului de dezvoltare a transportului rutier și alinierii la standardele europene, se impun o serie de restricții în privința utilizării infrastructurii datorită, atât factorilor poluanți cât și riscurilor de accidente. Pentru viitor se prevede extinderea transportului RO-LA, la care vehiculul rutier este îmbarcat direct pe vagon, sau a celui containerizat, pe vagoane platformă.

La nivelul Comunității Europene, obiectivul principal pentru perioada 2007-2013 este creșterea transportului feroviar de călători de la 6% la 10%, iar pentru transportul de mărfuri pe calea ferată de la 8% la 15%. Căilor Ferate Române le revine rolul de a integra infrastructura feroviară națională în parametri tehnici și operaționali de nivel european, pentru a fi parte compatibilă și interoperabilă a viitoare rețele feroviare trans-europene. O condiție necesară pentru dezvoltarea infrastructurii de transport (fig.1.7) o reprezintă implementarea cu succes și a celorlalte priorități de dezvoltare ale României pentru perioada 2007-2013. Se țintesc punctual creșterea mobilității persoanelor și a mărfurilor, integrarea polilor regionali de creștere cu rețeaua trans-europeană de transport, combaterea izolării zonelor subdezvoltate și, nu în ultimul rând, dezvoltarea infrastructurii de transport regională și locală [107, 15].

Obiectivul general este asigurarea infrastructurii de bază și conexe și a condițiilor necesare pentru dezvoltarea durabilă a economiei și îmbunătățirea calității vieții. Atingerea acestui obiectiv va contribui în mod direct la creșterea economică a României prin impactul pozitiv al relansării cererii pe termen scurt și, indirect, prin influența ofertei de transport asupra structurii costurilor la agenții economici, integrarea economiei românești în economia mondială și stimularea creșterii fluxurilor transfrontaliere de persoane și bunuri.

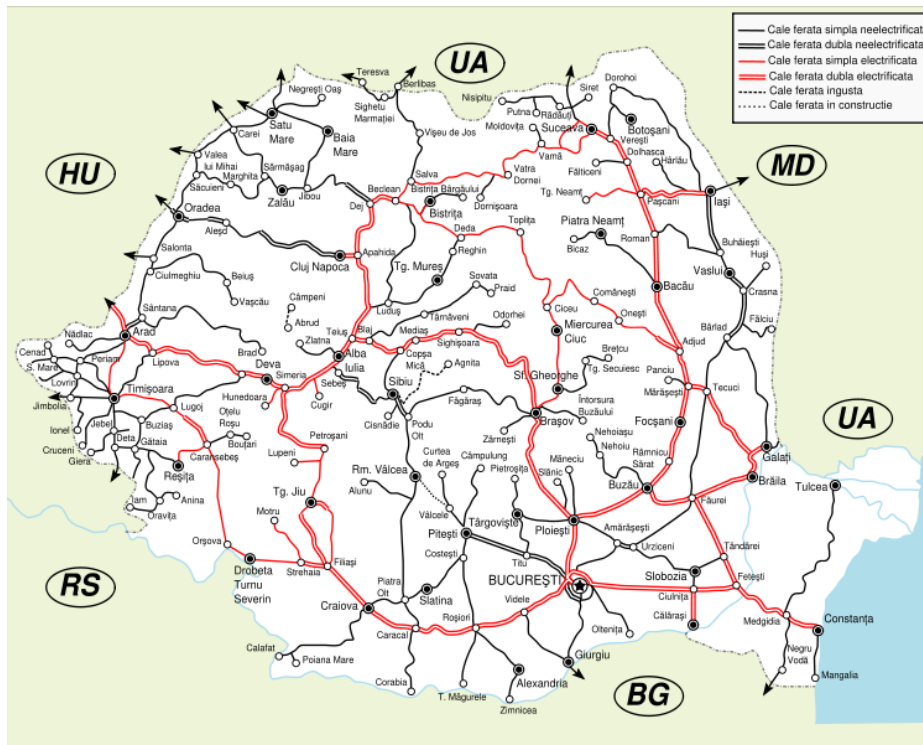


Figura 1.7. Rețeaua de căi ferate din România [20]

Pentru rețeaua de căi ferate se va urmări, în principal, reabilitarea infrastructurii feroviare în vederea sporirii atractivității transportului feroviar prin creșterea vitezei de circulație pe secțiunile aparținând rețelei interoperabile (rețeaua TEN -T, coridoarele paneuropene IV și IX) la 160-200 km/h pentru trenurile de călători și la 120 km/h pentru trenurile de marfă (fig. 1.8).

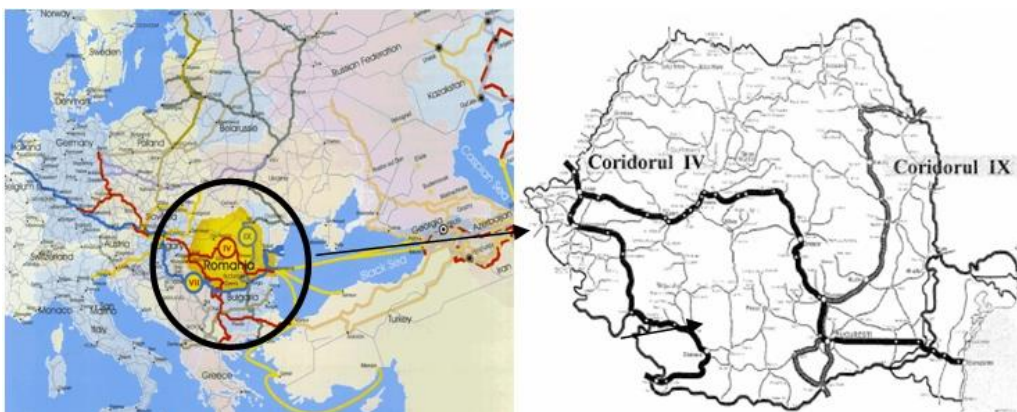


Fig. 1.8. Coridoarele pan-europene cu tranzit prin România [64, 55]

16 Considerații generale - 1

De asemenea, este luată în vedere și asigurarea interoperabilității rețelei feroviare convenționale, cea cuprinsă în rețeaua TEN-T, de-a lungul Coridoarelor Pan-Europene IV, VII și IX ce traversează România:

- *Coridorul IV Pan-European* - traversează Europa de la Vest la Est, asigurând infrastructura dintre vechile state membre și cele aderate după 2004 precum și cu Grecia, pe traseul:
 - Dresda/Nuremberg - Praga - Vienna - Bratislava - Győr - Budapesta - Arad, după care se ramifică în 2 ramuri:
 - Timișoara - Deva - Sibiu - Pitești - București - Constanța;
 - Timișoara - Drobeta Turnu Severin - Vidin - Sofia - Salonic.
- *Coridorul VII Pan-European* - corespunde traseului Fluviului Dunărea:
 - Nürnberg - Viena - Budapesta - Bratislava - Budapesta - Belgrad - Drobeta Turnu Severin - Vidin/Calafat - Giurgiu/Ruse - Galați - Marea Neagră în lungime de 2300 km. Acest coridor, completându-se cu Canalul Rin - Main și Dunăre - Marea Neagră reprezintă principala arteră de infrastructură fluvială a Uniunii Europene;
- *Coridorul IX Pan-European* - asigură infrastructura Europei pe relația Nord-Sud
 - de la Marea Baltică (Lituania) și Golful Finic Skt Petersburg, în direcția Moscova - Kiev - Chișinău - București - Ruse - Stara Zagora - Svilengrad - Alexandropol, în lungime de 3400 km;

Componenta feroviară a coridorului IV, pe teritoriul României, se desfășoară pe segmentele:

- Arad - Simeria - Coșlariu - Brașov - București - Constanța și
- Arad - Timișoara - Drobeta Turnu Severin - Craiova - Calafat/Vidin, iar a coridorului IX urmează traseul:
 - Ungheni - Iași - Pașcani - Bacău - Adjud - Mărășești - Buzău - Ploiești - București - Giurgiu/Ruse iar cea rutieră Albița - Focșani - Buzău - București - Giurgiu/Ruse.

Conform Acordurilor internaționale la care România a aderat, este necesară alinierea cu sistemele de transport feroviar european prin introducerea în cale și la bordul materialului rulant motor a elementelor necesare sistemului de supraveghere ETCS, modernizarea instalațiilor de centralizare a stațiilor de cale ferată prin introducerea instalațiilor de centralizare electronică, dezvoltarea sistemului informatic și pentru dezvoltarea rețelei de telecomunicații în vederea asigurării suportului de transmisie de date și implementării sistemelor informatice feroviare pentru toate stațiile de cale ferată situate pe rețeaua feroviară interoperabilă din România, implementarea centrului național de dirijare centralizată a traficului feroviar pe teritoriul României, rețehnologizarea instalațiilor de energo-alimentare a liniei de contact. Totodată, se impune elaborarea de proiecte privind traseul rețelei și stațiile de cale ferată aferente rețelei de mare viteză din România, pentru conectarea rețelei feroviare românești la rețeaua europeană de mare viteză.

Dezvoltarea durabilă urmărește diminuarea impactului transport-mediului și stabilizarea la un nivel scăzut a emisiilor și agenților poluanți rezultați din activitățile de transport și conexe. Sunt luate în vedere angajamentele asumate în cursul negocierilor pe Capitolul 9 *Politica în domeniul transporturilor*, precum și în tratatele și acordurile internaționale la care România și/sau UE sunt parte (Convenția Cadru a ONU asupra schimbărilor climatice din 1992, Protocolul de la Kyoto din 1997, Convenția de la Geneva asupra poluării transfrontaliere a aerului etc.) și va fi urmărită o colaborare permanentă cu autoritățile din domeniul protecției mediului

înconjurător. De asemenea este urmărit obiectivul de reducere a emisiilor cu efect de seră cu 5 % față de nivelul din 1990 în perioada 2008-2012 [21, 23, 107].

Procesul de dezvoltare durabilă vizează realizarea treptată a unor infrastructuri nepoluante (*prietenoase*) și eficiente, coroborat cu cerințele de compatibilitate cu infrastructura europeană și globală. Atingerea acestui obiectiv se va realiza prin extinderea transporturilor combinate și intermodale prin folosirea unui material rulant specializat, cu performanțe ridicate privind consumul de energie și de afectare a mediului, introducerea gestiunii centralizate a traficului de marfă (platforme intermodale), utilizarea de mijloace de transport performante tehnic și operațional, implementarea metodelor moderne de reducere a emisiilor poluante și cu efect de seră ce ne afectează în mod direct și indirect. De asemenea, se are în vedere introducerea serviciilor integrate pe baze logistice în transporturi, creșterea utilizării tracțiunii electrice a trenurilor, realizarea de unități modulare la trenurile de marfă, extinderea utilizării ramelor electrice și diesel în transportul feroviar de călători, inclusiv prin extinderea rețelei feroviare electrificate.

Înnoirea parcului de material rulant feroviar reprezintă una dintre căile de a atinge obiectivul instituirii unui transport durabil. Această măsură, ce conține componente tehnice, economice și legislative, va asigura o sporire a siguranței în exploatare, reducerea tuturor factorilor de poluare, în special chimică și fonică, randamente energetice sporite precum și un confort sporit.

Construcția primelor locomotive în România datează din anul 1912 când la Societatea Astra din Arad, după preluarea fostei fabrici Johann Weitzer producătoare de locomotive și vagoane pentru Austro-Ungaria între 1896-1902, a ieșit prima locomotivă cu abur pentru transportul feroviar românesc. În anii ce au urmat, mare parte din construcția de locomotive cu abur a fost preluată de fabrica de locomotive a societății *Uzinele de Fier și Domeniile de la Reșița*. Aici s-au construit, în perioada 1926-1962, peste o mie de locomotive pentru ecartament larg și îngust. După 1928 a început fabricarea de locomotive și la uzinele Malaxa din București, care împreună cu uzinele din Reșița au produs locomotive cu abur necesare căilor ferate române până în 1959-1960. În 1939 parcul CFR cuprindea 3.800 locomotive, 4.427 vagoane de călători și 64.833 vagoane de marfă [66].

Tracțiunea diesel în România a început în anul 1934 la uzinele *Malaxa* (București) și *Astra* (Arad) prin construcția primelor automotoare Diesel românești. Pe data de 30 iunie 1925 s-au realizat primele teste ale locomotivei acționată prin intermediul convertizorului de cuplu inventat de savantul român George Constantinescu. În 1936, administrația CFR a comandat la firma *Sulzer A.G.* - *Winterthur* cea mai puternică locomotivă Diesel-electrică a acelei perioade, locomotiva DE-241 (figura 1.9). Aceasta avea o putere instalată de 2×2.200 CP, greutatea în serviciu de 230 tf, viteza maximă de 100 km/h. Echipamentul electric a fost realizat de *Brown & Boveri Co.*, iar cel mecanic de *Henschel & Sohn*. Această locomotivă a servit ca model pentru locomotivele Diesel-electrice românești 060-DA [65].



Figura 1.9. Locomotiva diesel-electrică DE-241

Tracțiunea Diesel, în adevăratul sens al cuvântului, a fost utilizată de rețeaua CFR începând cu 1959. Din acest an a început construcția, pe baza licenței elvețiene (*Sulzer Winterthur* - constructorul motorului Diesel, *BBC Baden* - constructorul echipamentului electric și *SLM Winterthur* - constructorul părții mecanice), a primelor locomotive Diesel-electrice de 2.100 CP de tip 060-DA și 060-DA1 (figura 1.10). Alte caracteristici ale acestei locomotive sunt: lungimea între tampoane - 17 m, greutatea locomotivei (cu 2/3 din provizii) - 114 tf, viteza maximă - 100/120 km/h [30]. Primele șase exemplare de locomotive au fost construite în Elveția și au fost utilizate pentru remorcarea trenurilor grele de marfă pe ruta dificilă Brașov - Predeal, înlocuind definitiv locomotivele cu abur.



Figura 1.10. Locomotiva diesel-electrică românească 060-DA

Din 1960, conform unui contract încheiat cu firmele elvețiene menționate, fabricarea locomotivei Diesel cu transmisie electrică se face exclusiv în România la întreprinderea *Electroputere Craiova*, ce devenea astfel fabricantul general, care executa echipamentul electric al transmisiei și montajul general. Uzina constructoare de Mașini Reșița era constructorul motorului Diesel 12 LDA 28, sub licența *Sulzer*, al transmisiei mecanice și al boghiurilor (ulterior acestea vor fi construite de *Caromet Caransebeș*) [41, 42].

Din același an s-au pus bazele unui proiect îndrăzneț în ceea ce privește dezvoltarea ulterioară a transportului pe calea ferată în România. Acest proiect punea bazele unei noi locomotive (figura 1.11), care să suplinească activitatea locomotivelor diesel-electrice. Dacă locomotiva diesel-electrică a fost folosită pentru transportul de mărfuri pe relația Ploiești – Brașov, și nu numai, această nouă locomotivă, locomotiva diesel-hidraulică, era concepută pentru manevra grea dar și pentru tractarea trenurilor de călători pe liniile secundare.

Construită în primă fază la *Uzinele Faur* (ulterior schimbându-și denumirea în *Uzinele 23 August*), locomotiva este dotată cu jumătate din motorul Diesel 12 LDA 28 sub licență *Sulzer*, adică un motor diesel 6 LDA 28 și o putere de 1250 CP, iar cuplul de forță de la motor la obadă se face printr-un cuplaj hidraulic. Dacă locomotiva diesel-electrică era folosită la tractarea trenurilor pe timp de iarnă cu ajutorul unui vagon WIT pentru încălzirea vagoanelor, LDH 125 este dotată cu un agregat de abur pentru încălzirea vagoanelor, ceea ce o recomandă pentru trenurile de călători. Alte date caracteristice ale acestei locomotive sunt: lungimea între tampoane - 13,7 m, greutatea locomotivei - 70 tf, viteza maximă - 100 km/h [34].



Figura 1.11. Locomotiva diesel-hidraulică LDH 125

Evoluția industriei a condus la dezvoltarea parcului de locomotive Diesel și apoi electrice care treptat au înlocuit definitiv locomotivele cu aburi. Primele locomotive Diesel românești erau proiectate inițial pentru trenurile de marfă, dar succesul acestora a determinat utilizarea lor și pentru remorcarea trenurilor de călători. Pentru aceasta au fost operate unele modificări tehnice asupra locomotivelor ce au ridicat viteza maximă a acestora de la 100 la 120 km/h (în cazul locomotivelor 060-DA1).

1.1.3. Ponderea tracțiunii electrice și diesel în transportul feroviar în România

În momentul de față, sistemul de transport feroviar clasic (roată – șină), utilizând tracțiunea diesel, respectiv electrică, reprezintă cel mai rentabil sistem de transport terestru. Acest lucru este reflectat în faptul că toate administrațiile de cale ferată investesc cel mai mult în construcția și exploatarea trenurilor de viteze și

capacități mari, care față de celelalte mijloace de transport au următoarele avantaje [107]:

- siguranță pe toată durata de exploatare;
- fiabilitate sporită a materialului rulant, respectiv a sistemelor de control, comandă și siguranță comparativ cu celelalte sisteme de transport;
- interoperabilitate cu alte sisteme de transport prin legături în terminale specializate;
- rentabilitate economică pentru un trafic ridicat;
- protecție față de mediu;
- cel mai ridicat confort pentru călători;
- capacitate de adaptare la schimbările tehnice, economice sau sociale.

Pe lângă avantajele enumerate anterior există și unele dezavantaje care impun o atenție deosebită încă din faza de construcție și până la exploatarea curentă. Calea de rulare reprezintă cea mai mare investiție în stadiul inițial dar și pentru întreținerea la parametri de exploatare. Caracteristicile căii de rulare influențează în primul rând siguranța circulației, dar și capacitatea de transport, respectiv calitatea rulării [41]. Problemele legate de calitatea rulării se reflectă în normele tot mai restrictive impuse pentru construcția materialului rulant de cale ferată dar și în cazul infrastructurii, respectiv al suprastructurii. Toate aceste elemente concură la dezvoltarea de noi tehnologii și soluții tehnice care să impună acest sistem de transport. Îmbunătățirea calității infrastructurii feroviare convenționale și a materialului rulant conduc la sporirea atractivității modului de transport feroviar, încadrându-se în obiectivul principal al Uniunii Europene pentru perioada 2007-2013 de a revigora sistemul de transport feroviar, oferind o alternativă nepoluantă, mai sigură din punctul de vedere al integrității mărfurilor și călătorilor transportați, față de alte moduri de transport.

Astfel, Compania Națională „CFR” SA a trecut la punerea în aplicare a măsurilor de reabilitare a celor două coridoare Pan-Europene semnând mai multe contracte cu diferite firme specializate în construcția și modernizarea de căi ferate din țară și din străinătate. Conform rapoartelor [11], CN „CFR” SA totaliza în anul 2006 un total de 10.984 kilometri de cale ferată, lungimea desfășurată a acestora fiind de 20.677 km, la sfârșitul anului 2008 rețeaua ajungând să măsoare 20.247 km (10784 km), din care 8.585 km linie electrificată, ceea ce reprezintă 42,4%.

În figura 1.12 este prezentat procentual stadiul rețelelor de cale ferată electrificate în comunitatea europeană UE-25, în luna decembrie 2010. Conform acesteia, lungimea căilor ferate electrificate din România a scăzut sub 40% datorită închiderii anumitor secții de circulație nerentabile, închiderea de linii din stații CF etc. Din totalul de linii, în anul 2006 au fost reabilitați 62 km, în 2007 au fost reabilitați 82 km, în 2008 au fost reabilitați 69 km, în 2009 au fost reabilitați 130 km iar în 2010 au fost reabilitați 194 km, însumând un total de 540 km, ceea ce reprezintă un procent de aproximativ 3% din totalul rețelei de căi ferate.

Conform figurilor 1.12. și 1.13. în care sunt prezentate lungimile și densitățile rețelelor de căi ferate din UE pe țări, respectiv regiuni, doar câteva țări au o densitate de peste 100 km pentru fiecare 1000 km²: Republica Cehă (122 km), Belgia (116 km), Germania (107 km, față de cei 123 km în 1995 și 117 în 2009 - figura 1.13) și Luxemburg (106 km). La celălalt capăt se află Finlanda și Grecia cu sub 20 km la 1000 km².

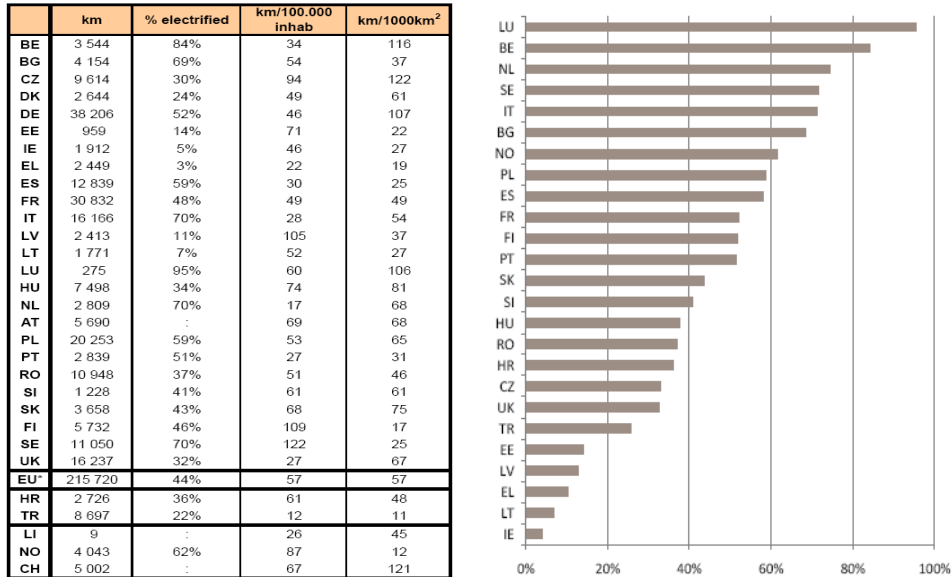


Figura 1.12. Lungimea totală a liniilor de cale ferată și lungimea liniilor electrificate[56]

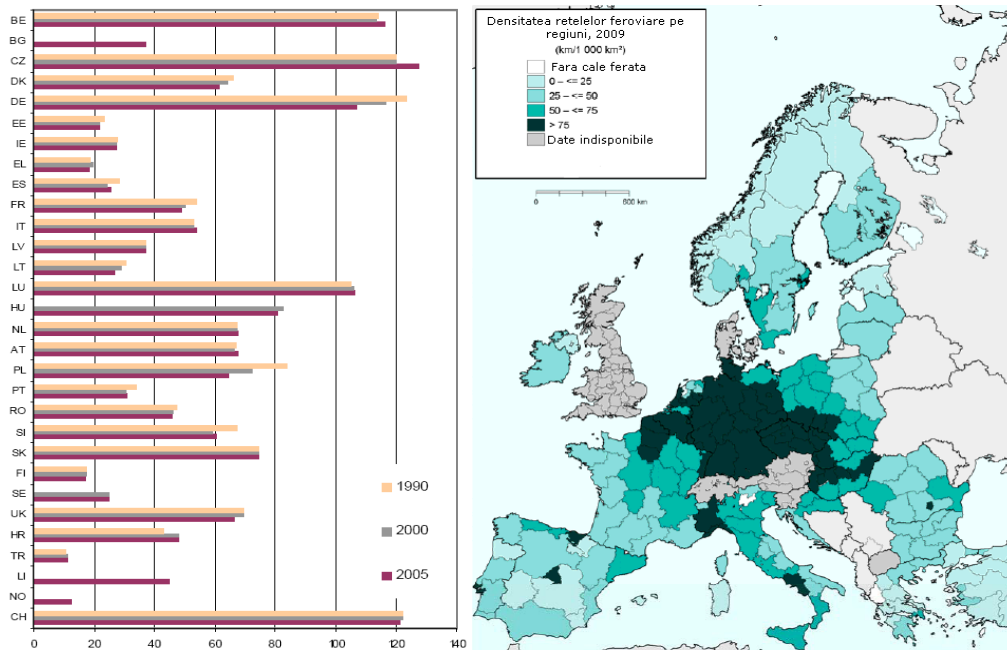


Figura 1.13. Densitatea rețelelor de cale ferată pe țări respectiv regiuni în UE [56]

În ceea ce privește regiunile se pare că lideri sunt capitalele Berlin și Praga cu o densitate de 681 km, respectiv 490 km la 1000 km². Urmează centrele industriale Bremen și Hamburg a căror densitate crescută de linii rezultă din transportul de marfă către și de la instalațiile portuare dar și zone puternic

22 Considerații generale - 1

industrializate în care transportul de marfă este preponderent, cum este cazul landului Saarland, în care industria grea (oțel), industria prelucrătoare (autoturisme) și industria energetică pe bază de cărbune se bazează pe o amplă rețea feroviară. De asemenea raporturile relativ mari sunt întâlnite și în regiuni individuale cum ar fi București-Ilfo, în România, Comunidad Valenciana în Spania și în Lisboa, Portugalia.

În anul 2007 pe rețeaua feroviară românească au fost transportați 94.441.000 pasageri, iar în anul 2008 numărul călătorilor care au preferat CFR-ul s-a situat la aproximativ 78.252.000 călători ceea ce reprezintă 20% din totalul de călători. În ceea ce privește cantitățile de mărfuri transportate de către operatorul CFR Marfă, în anul 2007 au fost de 68.772 mii tone iar în anul 2008 de 66.711 mii tone, ceea ce reprezintă 14,32% din totalul mărfurilor transportate [12].

Pentru a răspunde cerințelor de pe segmentul transporturilor de mare capacitate, calea ferată este obligată să se adapteze schimbărilor tehnice, economice și sociale. Astfel sunt necesare investiții în infrastructură, instalații dar și în materialul rulant de toate categoriile. Se caută o adaptare cât mai rapidă a sistemului astfel încât cu investiții limitate de actualele condiții economice să se realizeze un transport flexibil dar de o calitate superioară.

La ora actuală investițiile sunt orientate pe două direcții:

- modernizarea mijloacelor de transport existente pentru îmbunătățirea parametrilor tehnici de exploatare și adaptarea la condițiile de interoperabilitate cu alte sisteme;
- achiziționarea sau construcția unor vehicule de ultimă generație care prin calitățile tehnice să fie compatibile cu cerințelor de viitor stabilite la nivelul organizațiilor de transport feroviar.

Pe rețeaua C.F.R. se utilizează următoarele tipuri de unități motoare:

- locomotive diesel hidraulice 450 CP;
- locomotive diesel hidraulice 700 CP;
- locomotive diesel hidraulice 1250 CP;
- locomotive diesel hidraulice 1000 kW (provenite din modernizarea locomotivelor LDH 125);
- locomotive diesel electrice 1250 CP;
- locomotive diesel electrice 2100 CP (variante 060 DA și 060 DA1);
- locomotive diesel electrice 2300 CP (modernizarea variantei 060 DA);
- locomotive diesel electrice EGM 621;
- automotoare DESIRO;
- locomotive electrice 3400 kW (040 EC, 040 EC1);
- locomotive electrice 5100 kW (060 EA, 060 EA1 și 060 EA2);
- locomotive electrice 6600 kW (rezultate din modernizarea locomotivelor 060 EA și EA1);
- locomotive electrice 6000 kW (prima locomotivă cu motoare asincron construită în România);
- vehicule de uz special.

Rezumând clasificarea unităților motoare, parcul de material rulant este format din [9, 10]:

- locomotive electrice:
 - 6600 kW:
 - ✓ călători: 25 locomotive;
 - ✓ marfă: 34 locomotive;
 - 6200 kW:
 - ✓ călători: 1 locomotivă;
 - ✓ marfă: 0 locomotive;

- 5100 kW:
- ✓ călători: 286 locomotive;
- ✓ marfă: 316 locomotive;
- 3400 kW:
- ✓ călători: 59 locomotive;
- ✓ marfă: 22 locomotive;
- locomotive diesel:
- LDE 2300 CP:
- ✓ călători: 0 locomotive;
- ✓ marfă: 1 locomotivă;
- LDE 2100 CP:
- ✓ călători: 285 locomotive din care 61 modernizate cu motoare Genral Motors;
- ✓ marfă: 285 locomotive;
- LDH 1000 kW:
- ✓ călători: 40 locomotive;
- ✓ marfă: 27 locomotive;
- LDH 1250 CP:
- ✓ călători: 176 din care 18 modernizate ALSTOM;
- ✓ marfă: 235 locomotive;
- LDE 1250 CP:
- ✓ călători: 5 locomotive;
- ✓ marfă: 11 locomotive;
- Locomotive parc auxiliar:
- ✓ călători: 15 locomotive;
- ✓ marfă: 10 locomotive.
- rame electrice:
- ✓ călători: 31 rame electrice;
- ✓ marfă: 0 rame electrice.
- automotoare:
- ✓ călători: 266 automotoare din care 120 sunt rame DESIRO;
- ✓ marfă: 4 automotoare.

Acestor locomotive li se adaugă cele ale operatorilor privați și operatorilor industriali care totalizează aproximativ 160 locomotive electrice, 450 locomotive diesel și 160 automotoare. Unitățile remorcate sunt vagoanele de marfă și călători. Un accent deosebit se pune pe traficul de călători care trebuie să îndeplinească o serie de calități privind siguranța și confortul în exploatare. Astăzi în parcul activ al operatorului național de transport călători, din numărul total de vagoane peste 70 % sunt uzate fizic și depășite moral, fapt ce impune înnoirea și modernizarea vagoanelor, astfel încât acestea să corespundă cerințelor de exploatare din punct de vedere al siguranței, respectiv al protecției mediului.

În momentul de față, pe plan european, interesul către transportul feroviar este tot mai mare din următoarele considerente:

- protecția mediului înconjurător: volumul poluanților/t marfă transportată reprezintă 10% față de celelalte mijloace;
- eficiență energetică: pentru o tonă km convențională consumul este de 6 ori mai mic decât la auto și de 3 ori mai mic comparativ cu avioanele comerciale;
- siguranță în circulație: instalații, echipamente, sisteme pe vehicule și cale;
- utilizarea eficientă a terenului: o linie ocupă 60% comparativ cu un drum cu 2 benzi;

- implicare socială: ofertă de transport pentru toate categoriile sociale.

Datorită condițiilor economice, tehnice sau de altă natură, din punct de vedere al infrastructurii rețelele de cale ferată s-au dezvoltat neuniform. Astfel la nivel continental administrațiile de cale ferată au o structură foarte variată, ceea ce pune probleme în special pentru traficul feroviar internațional. La ora actuală în conformitate cu cerințele impuse de UIC se realizează o standardizare a căilor ferate mai ales în privința ecartamentului. S-a adoptat ecartamentul standard de 1435 mm, ecartament utilizat la majoritatea rețelelor feroviare din Europa.

O altă direcție de dezvoltare presupune construcția sau reabilitarea unor linii pentru viteze sporite sau chiar de mare viteză, astfel încât să se poată realiza un transport internațional în regim rapid. Pentru realizarea acestui deziderat sunt necesare investiții majore în infrastructura și suprastructura căii astfel încât să existe condițiile tehnice și de siguranță pentru rularea unor tonaje sporite, la viteze superioare.

În ceea ce privește transportul de călători, situația din prezent impune o restructurare a transportului pe rețelele naționale, în contextul apariției operatorilor privați. Astfel, în România există operatorul național „CFR Călători” și o serie de operatori privați care au închiriat secții de circulație neoperabile și interoperabile, în general liniile secundare cu trafic redus de pasageri. Se impune o strategie de dezvoltare a transportului feroviar în contextul integrării europene prin creșterea calității serviciilor oferite, adaptarea traficului de trenuri în funcție de cerințele locale sau regionale. Pe de altă parte, sunt necesare investiții majore în parcul de vagoane, datorită faptului că acesta este învechit într-o proporție care depășește 70 %. Construcția noilor vagoane trebuie să respecte noile standarde în vigoare la nivel european referitoare la siguranță, protecția mediului și confort. În ceea ce privește țările europene, mare parte a acestora manifestă o tendință accentuată de utilizare a transportului feroviar în traficul regional și internațional, pe distanțe medii și lungi oferind cel mai bun raport calitate/preț.

Transportul de marfă se dezvoltă într-un ritm accelerat astfel încât odată cu apariția operatorilor privați, se impune schimbarea legislației în domeniul transporturilor pe calea ferată. Normele, reglementările, instrucțiunile de exploatare adoptate trebuie să impună condiții foarte stricte atât pentru utilizarea în comun a infrastructurii feroviare (siguranță, standardizare), cât și pentru protecția mediului față de toate riscurile majore specifice acestui tip de transport. Pentru creșterea eficienței în transporturi, se utilizează mai multe mijloace care interacționează între ele formând transportul combinat. Transportul feroviar se interconectează cu transportul rutier, cel fluvial sau maritim în terminale specializate. La ora actuală se pune un accent deosebit pe transportul multimodal, mai ales în cadrul schimburilor comerciale dintre state datorită siguranței în exploatare, volumului mare de mărfuri transportate cât și eficienței economice. Din cauza infrastructurii rutiere slab dezvoltate și a traficului aglomerat din România, transportul greu de mărfuri pe distanțe lungi se face în condiții foarte dificile, cu timpi de parcurgere mari, ceea ce impune implementarea sistemului de transport combinat de tip RO-LA [113]. În figura 1.14. este prezentat un terminal pentru vehiculele rutiere care sunt transportate pe vagoane de construcție specială cu platformă coborâtă. Aceste terminale sunt amplasate în apropierea zonelor industriale, fapt ce permite accesul direct spre infrastructura de transport [107].

Prin utilizarea transportului combinat pe distanțe medii și lungi se obțin următoarele avantaje:

- niveluri de poluare chimică și fonică scăzute;
- siguranță sporită în exploatare;

- costuri de transport mai reduse decât în sistemul clasic cu transbordare de mărfuri;
- timpi de parcurs mai reduși comparativ cu transportul pe infrastructura rutieră.



Fig. 1.14. Terminal RO-LA [117]

Toate activitățile din transporturi trebuie să respecte legislația europeană privind evaluarea și gestionarea poluării chimice a mediului înconjurător. În cadrul politicii comunitare sunt prevăzute norme foarte stricte privind protecția sănătății umane și a mediului, iar protecția împotriva poluării chimice este unul dintre obiectivele vizate. În prezent sunt stabilite norme și metode de evaluare a emisiilor provenite de la vehiculele motoare care permit definirea unor valori limită, exprimate în indicatori armonizați la nivel european. Valorile limită impuse de legislația statelor trebuie să aibă la bază principiul prevenției în scopul eliminării factorilor poluanți care prezintă efecte negative asupra oamenilor și a mediului înconjurător.

1.1.4. Contextul Comunității Europene (CE) privind transportul feroviar cu viziune până în 2050

Transporturile reprezintă un sector fundamental pentru economia și societatea fiecărei țări. Mobilitatea este vitală pentru creșterea economică și pentru crearea de locuri de muncă. Sectorul transporturilor asigură aproximativ 10 milioane de locuri de muncă. Eficacitatea sistemelor de transport este foarte importantă pentru competitivitatea întreprinderilor europene în cadrul economiei mondiale. Pentru societățile europene, logistica (transportul, depozitarea etc.) reprezintă 10-15% din costul unui produs finit.

Mobilitatea se află pe o continuă pantă ascendentă, însă sectorul european al transporturilor se află la o răscruce de drumuri. Sistemul de transport se confruntă cu numeroase provocări majore [57]:

- rezervele de petrol sunt în continuă scădere în deceniile următoare și va trebui să se importe tot mai mult din regiunile instabile ale lumii. Se preconizează că prețul petrolului va crește de cel puțin două ori între 2005 și 2050;

26 Considerații generale - 1

- cu toate că transporturile au devenit mai eficiente din punct de vedere energetic, 96% din necesarul de energie al sectorului depinde încă de petrol;
- în Europa, costurile aferente congestiilor se ridică anual la 1% din PIB;
- este necesară reducerea drastică a emisiilor de gaze cu efect de seră la nivel mondial, cu scopul de a limita la 2°C creșterea temperaturii cauzată de schimbările climatice. În general, pentru a atinge acest obiectiv, UE trebuie să reducă emisiile cu 80-95% până în 2050 față de nivelurile din 1990;
- potrivit previziunilor, sectorul transportului de marfă își va intensifica activitatea cu 40% în 2030 și cu puțin peste 80% până în 2050, comparativ cu nivelurile din 2005. Traficul de pasageri va înregistra o creștere ceva mai redusă decât transportul de marfă: 34% până în 2030 și 51% până în 2050, lucru ce atrage o atenție sporită asupra congestiilor;
- în ceea ce privește nivelul de dezvoltare a infrastructurii, există mari diferențe între regiunile estice și vestice ale CE. În noile state membre există în prezent doar aproximativ 4 800 km de autostradă și nu există căi ferate speciale de mare viteză; căile ferate convenționale sunt adesea în stare proastă;
- sectorul european al transporturilor se confruntă cu o concurență tot mai acerbă pe piețele mondiale ale transporturilor, aflate în expansiune rapidă.

Aflată față în față cu aceste provocări, Comisia Europeană a adoptat o amplă strategie denumită *Transporturi 2050* orientată către realizarea unui sistem competitiv de transporturi care să crească nivelul de mobilitate, să elimine obstacolele majore din mai multe domenii cheie și să stimuleze creșterea economică și crearea de locuri de muncă. Această strategie va fi pusă în practică în următorii ani (2011-2014), iar principalele măsuri vor include [57]:

- o amplă reformă a cadrului de reglementare din domeniul transportul feroviar (pachetul feroviar 2012/2013). Nucleul Foii de parcurs Transporturi 2050 îl constituie necesitatea de a transforma sectorul feroviar astfel încât să devină mai atractiv și să poată realiza o creștere foarte semnificativă a cotei de piață a transporturilor de călători și de marfă pe distanțe medii (>300 km) până în 2050. În același timp, scopul este de a tripla până în 2030 lungimea actualei rețele de căi ferate de mare viteză. Pentru a realiza toate aceste lucruri, este necesară deschiderea pieței pentru serviciile interne pentru călători, introducerea unor structuri unice de gestionare pentru coridoarele de transport feroviar de marfă, separarea completă a gestionarilor de infrastructură de furnizorii de servicii și îmbunătățirea cadrului de reglementare pentru a face sectorul feroviar mai atractiv pentru investitorii din sectorul privat;
- o rețea centrală de infrastructuri strategice este esențială pentru crearea unui veritabil spațiu unic european al transporturilor. În 2011, CE va prezenta noi propuneri privind o rețea transeuropeană centrală *multimodală* (publicarea orientărilor privind rețeaua transeuropeană TEN-T, hărți și propuneri financiare);
- crearea unui mediu financiar echitabil: o abordare inedită a taxelor de transport. Taxele de transport trebuie restructurate în sensul unei

aplicări mai generalizate a principiilor *poluatorul plătește și utilizatorul plătește*;

- internalizarea costurilor externe în cazul altor moduri de transport;
- pentru a garanta stabilitatea finanțării transporturilor, se va aplica principiul rezervării veniturilor realizate din taxarea utilizatorilor transporturilor pentru dezvoltarea unei rețele integrate și eficiente (adică, un procent din taxele de transport trebuie reinvestit în sector pentru a asigura finanțarea necesară creării unei infrastructuri de transport de înaltă calitate);
- se va acorda prioritate producerii de vehicule ecologice, sigure și silențioase pentru toate modurile de transport, de la autovehicule la nave, barje, material rulant și aeronave. Printre principalele elemente vizate se numără combustibilii alternativi, noile materiale, noile sisteme de propulsie și instrumentele informatice și de gestionare a traficului destinate gestionării și integrării unor sisteme de transport complexe;
- îmbunătățiri majore la nivelul gestionării traficului sunt esențiale pentru eficientizarea tuturor modurilor de transport și pentru reducerea emisiilor cauzate de acestea. În acest sens este urmărită introducerea de sisteme avansate de gestionare a transporturilor terestre și pe calea apei (ERTMS etc).
- pe termen scurt va fi încurajat masiv progresul în vederea adoptării, la nivelul CE, a măsurilor necesare pentru facilitarea planificării transportului integrat multimodal, începând cu elaborarea principalelor standarde necesare pentru a facilita planificarea transportului feroviar la nivelul întregii CE (2012), precum și a măsurilor legislative necesare pentru garantarea accesului furnizorilor de servicii la informații în timp real privind deplasările și traficul;
- transferul a 50% din transportul interurban de persoane și mărfuri pe distanță medie dinspre transportul rutier către transportul feroviar și maritim/fluviat;
- o reducere totală de 60% a emisiilor din sectorul transporturilor până la jumătatea secolului etc.

1.1.5. Concluzii

În condițiile actuale de transport, datorită atât factorilor de poluare cât și costurilor ridicate de operare, se impune reanalizarea strategiilor de dezvoltare din domeniul transporturilor terestre. Sunt necesare acțiuni în vederea reducerii poluării de orice natură, creșterea siguranței în exploatare precum și reducerea costurilor de operare.

Dintre avantajele majore pe care le oferă transportul feroviar de marfă și călători pot fi menționate:

- siguranță crescută călătorilor și mărfurilor transportate comparativ cu celelalte mijloace de transport;
- orar fix pentru plecări și sosiri;
- transportul feroviar de marfă folosește de patru ori mai puțină energie decât transportul rutier de marfă;
- capacitate mare de transport;
- se pot transporta cele mai diverse tipuri de marfă pe orice relație, atât în trafic intern cât și în trafic internațional;

- independență față de factorii de risc precum accidente, congestionare drumurilor;
- influența redusă a fluctuației costurilor carburanților;
- transportul feroviar este un transport relativ curat, poluarea mediului este redusă, raportată la volumele de marfă transportate și distanța parcursă.

În ceea ce privește dezavantajele care se întâlnesc în transportul feroviar de marfă și călători pot fi menționate:

- nu asigură, în orice situație, transportul direct de la furnizor la beneficiar, necesitând combinarea cu transportul auto și transbordarea mărfurilor;
- în unele cazuri durata transportului este mai mare decât în cazul celorlalte mijloace de transport;
- necesită investiții mari, personal cu calificare diversă și complexă;
- protecție mai redusă a mărfurilor la șocuri (în triaje).

Toate măsurile adoptate la nivel național trebuie armonizate la nivel internațional astfel încât să se asigure o uniformizare în aplicarea reglementărilor comune de luptă contra poluării în domeniul transporturilor, construcțiilor și a mediului înconjurător.

1.2. Scopul lucrării și necesitatea cercetării în domeniu

Intensificarea activităților antropogene ca urmare a creșterii demografice, mai ales în a doua jumătate a secolului al XX-lea, a antrenat după sine o creștere a capacităților de producere a întreprinderilor de diferite profiluri. Funcționarea acestora, bazată pe volume mai mari de materie primă folosită, a solicitat de la transporturi viteze mai mari de deplasare, capacități mai mari de transportare și creșterea numărului mijloacelor de transport care circulă zilnic pe rutele naționale și internaționale. Această activitate intensă s-a putut realiza datorită unei gestiuni bine puse la punct a fluxurilor de materii și produse. Beneficiul populației a fost evident, însă aceasta a atras după sine și unele momente mai puțin plăcute. Unul din acestea este poluarea mediului, care în ultimul timp afectează foarte serios populația, astfel încât transporturile au devenind cel mai puternic poluant al mediului [90].

Transporturile influențează mediul în mai multe moduri. Caracteristicile tehnice de exploatare, particularitățile economice și combustibilul consumat determină influența diferită a unor tipuri de transporturi asupra diferitelor componente ale mediului. Poluarea atmosferei, a solurilor și a bazinelor acvatice se manifestă în câteva etape: începând de la construcția și exploatarea căilor de comunicații cu eliminarea deșeurilor rezultate și ocuparea diferitelor teritorii pentru crearea infrastructurii și comunicațiilor, urmată de eliminarea în atmosferă și hidrosferă a deșeurilor toxice în timpul transportărilor și, nu în ultimul rând, creșterea nivelului zgomotului (poluarea fonică), mai ales în marile orașe și zone industriale [27].

Apărut odată cu revoluția industrială, datorită creșterii volumului de mărfuri și a intensificării traficului de persoane, transportul feroviar deține la ora actuală cea mai mare pondere în cadrul sistemului unitar al transporturilor ceea ce face ca pe plan mondial să se pună un deosebit accent pe protecția împotriva poluării chimice. Scopul acestei lucrări este determinarea nivelului emisiilor de NO_x produse de locomotivele diesel hidraulice de 1360 CP aflate în exploatare atât în serviciul de tracțiune al trenurilor de călători cât și cel de marfă precum și propunerea de soluții pentru reducerea acestor emisii. În lucrare sunt prezentate teste efectuate în

laboratorul CEEC (Combustion Engine and Emission Control) al Facultății de Științe Aplicate, Regensburg din cadrul mobilității efectuate și date efective ale concentrațiilor de NO_x cu impact asupra mediului atât în regim static cât și în regim dinamic de funcționare al locomotivelor diesel hidraulice aflate în exploatarea feroviară. Tema acestei lucrări este o temă de noutate și problemele tratate sunt de importanță globală.

Se cunoaște faptul că în prezent, la nivel global se manifestă o grijă accentuată în ceea ce privește emisiile poluante cu efect de seră care contribuie în mod negativ asupra sănătății umane și a mediului înconjurător. Una din cauzele principale ale acestor gaze cu efect de seră este încălzirea globală, fenomen ce determină o creștere continuă a temperaturilor medii înregistrate ale atmosferei în imediata apropiere a solului, precum și a apei oceanelor. În figura 1.15 este prezentată anomalia temperaturii datorată încălzirii globale și o previziune asupra acesteia până în 2100, făcută de diferite instituții de cercetare după diferite modele climatice. Din cele două grafice se poate observa faptul că începând cu anul 1980 temperatura se află pe o pantă continuu ascendentă față de punctul 0 iar dacă se menține acest ritm până în 2100, conform studiilor, în cel mai bun caz aceasta va urca până la $+2,2^\circ\text{C}$ iar în cel mai rău caz aceasta va ajunge până la $+4,8^\circ\text{C}$ [54].

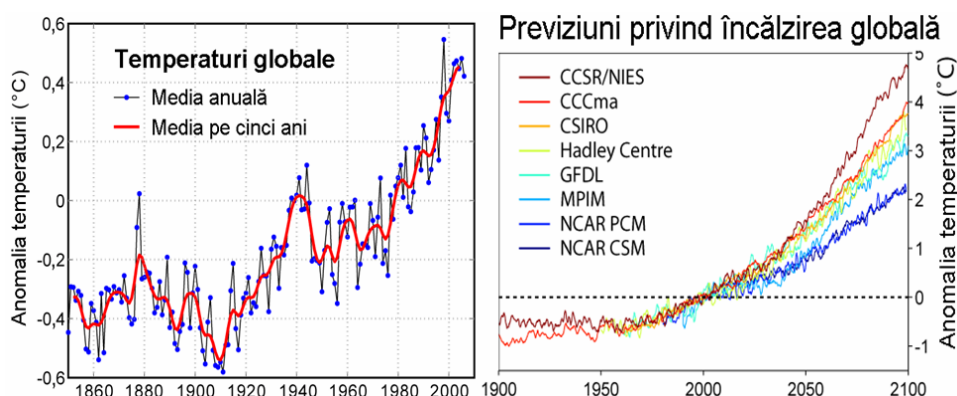


Figura 1.15. Anomalia temperaturii datorate încălzirii globale [54, 105]

Acest lucru va avea consecințe negative în mai multe domenii:

- *transporturi* - căile ferate, drumurile, pistele de aterizare, conductele pot fi afectate de variațiile de temperatură mai mari, pot avea o durată de serviciu mai mică și pot necesita întreținere sporită;
- *economie* - topirea ghețurilor arctice ar putea face exploatabile resurse naturale ca pescuitul sau zăcămintele de gaze naturale și petrol, blocate momentan dar care ar duce la apariția unor divergențe între anumite state/țări cum ar fi: Rusia, Statele Unite, Canada, Norvegia și Danemarca [13];
- *agricultură* - benefică în anumite zone datorită creșterii conținutului de CO_2 asimilat prin fotosinteză dar cu efecte dezastruoase prin deplasarea zonelor de pescuit spre nord, lăsând fără hrana de baza zonele centrale dar și extinderea zonelor deșertice;
- *sănătate* - creșterea temperaturii crește riscul afecțiunilor cardiovasculare și mărește concentrațiile de ozon troposferic, care este un poluant ce poate produce astm bronșic [86];

30 Considerații generale - 1

De asemenea, tot pe seama încălzirii globale sunt puse și fenomenele meteorologice cum ar fi uraganele și furtunile tropicale care s-au dublat în ultimii 100 de ani, sau ninsori în anumite așezări în care acest lucru nu s-a înregistrat niciodată.

Pentru sistemul de transport feroviar, datorită aportului semnificativ de emisii poluante, un obiectiv important îl constituie diminuarea impactului negativ asupra mediului înconjurător prin adoptarea unor măsuri concrete de stabilizare la un nivel scăzut al emisiilor poluante și prin introducerea în exploatare a celor mai noi mijloace de transport cu randamente sporite și grad de poluare redus.

Din punct de vedere tehnic, reducerea emisiilor din gazele de ardere a combustibililor fosili se realizează prin reducerea consumului de combustibil, prin inhibarea mecanismului de producere a poluanților (metode primare) sau prin metode de epurare a gazelor evacuate (metode secundare), respectiv combinații ale acestor procese. Este cunoscut faptul că se pot aplica numeroase tehnologii, care pot reduce într-o măsură considerabilă aceste emisii. Dintre acestea, doar foarte puține sunt folosite, cu toate că limitele naționale și internaționale impuse de legislația mediului sunt stricte.

2. EMISILE MOTOARELOR DIESEL ȘI NORME PRIVIND LIMITAREA ACESTORA

2.1. Generalități

2.1.1. Ecologie și poluare

Ecologia este știința care se ocupă cu studiul interacțiunii dintre ființele vii și dintre acestea și mediul în care trăiesc. Denumirea a fost dată de biologul german Ernest Haeckel, în 1866, prin lucrarea „Morfologia generală a organismului”, denumirea avându-și originea în limba greacă (oikos-casă, logos-știința). Desprinsă din biologia generală, ecologia este o știință care-și dovedește, tot mai mult, independența și importanța. Ecologia nu poate fi ruptă nici de științele ingineresti medicale și nici de cele social-umaniste, protecția mediului fiind în simbioză intimă cu acestea [87].

În strânsă legătură cu noțiunea de ecologie este cea de poluare. Poluarea constă în introducerea în mediu a unor substanțe care alterează echilibrul ecologic, dăunează stării de sănătate și confort a ființelor vii și produce pagube economice prin modificarea factorilor naturali sau a celor creați prin activități umane (factori antropici). În esență, poluarea mediului înconjurător reprezintă ansamblul modificărilor defavorabile pe care le suportă calitățile naturale ale acestuia, sub influența activităților antropice. Poluarea nu poate fi considerată ca o caracteristică a societății moderne [36]. Omul a dezvoltat activități cu caracter poluant încă de la descoperirea focului, modul de practicare a agriculturii în antichitate a determinat poluarea treptată a solului, întinse teritoriile din Fenicia, Babilon și Egipt fiind transformate în deșerturi.

2.1.2. Directiva 96/61/EC privind prevenirea și controlul integrat al poluării (IPPC)

Directiva Comisiei Europene (CE) IPPC, referitoare la prevenirea și reducerea integrată a poluării mediului, din 30 octombrie 1996, reglementează autorizarea instalațiilor industriale, relevante pentru mediu, în baza unui concept ce cuprinde toate mediile. În această abordare sunt cuprinse atât emisiile în aer, apă și sol cât și aspectele economice legate de deșeuri, eficiența energetică a resurselor și prevenirea accidentelor. Scopul este atingerea unui nivel înalt de protecție a mediului, în întregul său [83].

Un element esențial al directivei este cerința aplicării *celor mai bune tehnici disponibile* (BAT) în cadrul tuturor instalațiilor noi și cel târziu, începând cu anul 2007, și în cadrul instalațiilor existente. Directiva definește în articolul 2 cele mai bune tehnici disponibile ca fiind tehnicile cele mai eficiente în atingerea unui nivel general ridicat de protecție a mediului. Se deosebesc [16]:

- *tehnicele cele mai eficiente*, corespunzătoare stadiului prezent de dezvoltare al activităților și al metodelor de funcționare;

- *tehnicele aplicate*, precum și modul în care instalația este proiectată, construită, exploatată și scoasă din funcțiune se bazează pe tehnici "disponibile" adică tehnica, dezvoltată la o scară care, considerând relația costuri/beneficii, face posibilă aplicarea în condiții economice și realizabile tehnic în sectorul industrial respectiv, indiferent dacă aceste tehnici sunt utilizate sau realizate în statul membru respectiv, întrucât sunt accesibile pentru operator în condiții rezonabile.

Scopul tehnologiilor BAT este limitarea emisiilor pentru a preveni și minimiza poluarea. Fiecare tehnică BAT este concretizată în Directiva IPPC. În vederea unei armonizări la nivel european, se prevede un schimb de informații asupra celor mai bune tehnici disponibile [16].

2.1.3. Tehnicile BAT pentru emisiile specifice procesului de generare a energiei

2.1.3.1. Emisiile de particule

Emisiile de particule rezultate ca urmare a arderii combustibililor solizi sau lichizi rezultă din fracția minerală a acestuia. O ardere incompletă a combustibililor lichizi conduce la formarea funinginii. Emisia de praf rezultată din arderea combustibililor gazoși este redusă față de emisiile de particule rezultate în urma arderii combustibililor solizi. Valoarea concentrațiilor este sub 5 mg/m³N raportat la 3 % O₂, fără a implementa tehnici de reducere [16].

Implementarea filtrelor electrostatice sau a filtrelor din material textil sunt considerate BAT. Cicloanele nu sunt considerate BAT, dar pot fi folosite ca precursori la precurățirea gazelor de ardere. După aplicare, concentrațiile particulelor se reduc la 5-20 mg/m³N raportat la O₂ de referință.

2.1.3.2. Emisia de oxizi de azot (NO_x)

Pentru instalațiile mari, reducerea catalitică selectivă (SCR) este considerată BAT. Prin tehnica SCR se reduc emisiile de NO_x în proporție de 80 – 95 %. Pentru centralele de mici dimensiuni se aplică reducerea catalitică neselectivă (SNCR). Se indică și implementarea arzătoarelor sărace în NO_x în combinație cu sistemele secundare de reducere a oxizilor de azot.

Tehnologia de ardere în strat fluidizat este, de asemenea, indicată pentru reducerea nivelului concentrațiilor de NO_x, pe lângă procedee precum injecția de aer (sau abur) sau de recirculare a gazelor de ardere. Limitele impuse pentru această tehnologie variază între 20 – 300 mg/m³N, raportate la O_{2,ref}, în funcție de sistemele concrete.

2.1.3.3. Emisia de dioxid de sulf

Oxizii de sulf se formează datorită prezenței sulfurii în combustibil. Folosirea în instalațiile de ardere a combustibilului cu un conținut scăzut de sulf este considerată o tehnologie BAT. Scruberele uscate cu pulverizare ce asigură un grad de desulfurare până la 92 % și scruberele umede ce asigură un grad de reducere, cu eficiență de 92 – 98 % sunt considerate BAT. Limitele emisiilor după aplicarea BAT sunt cuprinse între valori de la 20 la 400 mg/m³N raportate la O₂ de referință în funcție de tipul de combustibil și mărimea centralei.

2.1.3.4. Metalele grele

Emisia de metale grele rezultă din prezența lor ca și compus natural în combustibilii fosili. Majoritatea metalelor sunt eliminate ca și compuși asociați cu

particule. În consecință, pentru a reduce emisiile de metale grele, este nevoie de acțiunea filtrelor din material textil sau a celor electrostatice, în combinație cu tehnologiile specifice desulfurării și reținerii selective a metalelor din gazele de ardere, dacă e cazul.

2.2. Standarde ale Comunității Europene (CE) și din România (RO) privind măsuri legislative de protecția mediului

Poluarea mediului a devenit o problemă social-economică contemporană, care, în special în țările cu grad avansat de industrializare, a luat proporții în așa fel încât s-a impus adoptarea unor măsuri legislative pentru limitarea acțiunilor ei nocive.

Epoca contemporană aduce numeroase declarații și acțiuni cu caracter politic al unor conducători de state sau ale unor mișcări ecologiste, prin care se dorește sublinierea efectelor negative ale activităților umane asupra mediului înconjurător și necesitatea impunerii anumitor legi unanim recunoscute și respectate pentru protecția acestuia [28, 32, 39].

La nivel mondial, în cadrul reuniunilor care își propun dezbaterile acestei probleme și găsirea de noi soluții pentru rezolvarea problemelor globale ale protecției mediului se înscriu: *Declarația cu privire la mediul înconjurător*, Stockholm, în 1972; *Conferința Națiunilor Unite privind Mediul și Dezvoltarea* unde a fost formulată *Declarația de la Rio* din care face parte și *Agenda 21*, care a avut loc la Rio de Janeiro, în iulie 1992; *Protocolul de la Kyoto*, negociat de 160 de state în decembrie 1997, ce privește schimbările climatice, adoptată cu scopul de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră considerate responsabile pentru schimbările climatice. Conform acestei convenții, între 2008 și 2012 națiunile industrializate s-au angajat să reducă emisiile de gaze cu efect de seră cu o medie de 5% comparativ cu nivelul anului 1990 [59].

În ceea ce privește România, primele principii în ceea ce privește protecția mediului se regăsesc în tradițiile istorice ale poporului, care vizează două aspecte: apa și pădurile, primele reguli de conservare a pădurilor, de evaluare a pagubelor și de amendare pentru pagubele aduse fiind publicate în anul 1514.

Problema protecției și conservării mediului continuă, devenind astfel o problemă de interes național. Cele mai importante acte normative care conțin reglementări (norme) în acest domeniu sunt: constituția, legi cu referire la aspecte de mediu, decrete, hotărâri, tratate și convenții internaționale, cu condiția ca acestea să fie ratificate de către România.

La data de 29.12.1995, apare în România (în Monitorul Oficial al României, Anul VII nr 304/30.12.1995) *Legea Protecției Mediului* (nr. 137)[4]. Aceasta este printre primele legi care face referire generală la următoarele activități, care sunt supuse procedurilor de evaluare a impactului asupra mediului pentru eliberarea acordului și/sau autorizației de mediu: transporturi (rutier, feroviar, pe ape, aerian), energie (producție, transport și stocare), construcții hidrotehnice, eliminarea deșeurilor și a ambalajelor, apărarea națională, sport, turism, agrement, industrie, alte lucrări sau instalații [74].

Odată cu aderarea României la UE, a urmat și un proces de negociere privind problemelor de mediu. Astfel România s-a angajat să armonizeze *legislația națională* cu *aquis-ul comunitar* în domeniul mediului până la data de 01.01.2007. Totodată, România a ratificat *Protocolul de la Kyoto* în anul 2001, obligându-se să

reducă în perioada 2008-2012 emisiile de gaze cu efect de seră cu 8% față de nivelul de referință stabilit în 1989.

În ceea ce privește utilajele mobile nonrutiere (NRMM), au fost aprobate 4 directive : *Directiva 97/68/EC*- *directiva mamă*, *Directiva 2002/88/EC* și *Directiva 2004/26/EC*, ultima fiind *Directiva 2006/105/EC* din 20.11.2006, care adoptă directivele : 73/239/EEC, 74/557/EEC și 2002/83/EC. Ultima a fost adoptată din considerentul aprobării și aderării României și Bulgariei la normele NRMM și oferă un timp de acomodare a celor două țări. Aceasta reglementează emisiile de gaze precum și procedura de testare pentru diferitele tipuri de motoare [60].

Directiva pentru NRMM a fost structurată pe etape astfel încât motoarele noi construite să se adapteze cerințelor acestor norme, cea mai restrictivă dintre aceste etape fiind chiar prima. Etapele cuprinse de directivă sunt cunoscute sub denumirea de standarde Stage I...IV, și sunt [60]:

- *Stage I/II*;
- *Stage III/IV*.

Prima legislație europeană care a reglementat emisiile provenite de la vehiculele nonrutiere, a fost promulgată pe 16 decembrie 1997 prin *Directiva 97/68/CE*. Reglementările acestei directive au fost introduse în două etape: **Stage I** puse în aplicare în 1999 și **Stage II** - puse în aplicare 2001-2004, în funcție de puterea motorului. Echipamentele care intră sub incidența acestui standard sunt: platforme de foraj industrial, compresoare, încărcătoare frontale construcții, buldozere, camioane nonrutiere, excavatoare autostradă, stivuitoare, echipamente de întreținere a drumurilor, pluguri de zăpadă, echipamente de sprijin la sol în aeroporturi, ascensoare aeriene și macarale mobile, motoarele utilizate la nave, locomotive, avioane și grupuri electrogene nefiind acoperite de standardele **Stage I/II**.

La data de 09 decembrie 2002, Parlamentul European a adoptat *Directiva 2002/88/CE*, de modificare a *Directivei 97/68/CE* pentru autovehiculele nonrutiere prin adăugarea de standarde de emisie pentru motoarele mici (utilitare) cu benzină cu putere mai mică de 19 kW. Această directivă și-a extins aplicabilitatea și în standardul **Stage II** privind motoarele cu turație constantă.

Emisiile standardelor **Stage I/II** nu trebuie să depășească suma indicată în tabelul 2.1. Limitele emisiilor sunt la ieșirea din motor și reprezintă valorile înainte de orice dispozitiv de posttratament a evacuării. Pentru **Stage I/II**, motoarele sunt testate folosind combustibilul cu un conținutul de sulf de 0,1-0,2%.

Tabelul 2.1. Emisiile standardelor **Stage I/II** pentru motoarele diesel nonrutiere [60]

Categororia	Puterea netă kW	Data intrării în vigoare*	CO	HC	NO _x	PM
			g/kWh			
Stage I						
A	130 ≤ P ≤ 560	1999.01	5.0	1.3	9.2	0.54
B	75 ≤ P < 130	1999.01	5.0	1.3	9.2	0.70
C	37 ≤ P < 75	1999.04	6.5	1.3	9.2	0.85
Stage II						
A	130 ≤ P ≤ 560	2002.01	3.5	1.0	6.0	0.2
B	75 ≤ P < 130	2003.01	5.0	1.0	6.0	0.3
C	37 ≤ P < 75	2004.01	5.0	1.3	7.0	0.4
D	18 ≤ P < 37	2001.01	5.5	1.5	8.0	0.8
*Stage II se aplică efectiv motoarelor cu turație constantă din 01.2007						

Standardele de emisie ale **Stage III/IV** au fost adoptate de Parlamentul European la 21 aprilie 2004 prin *Directiva 2004/26/CE*, pentru motoarele nonrutiere, și la 21 februarie 2005 prin *Directiva 2005/13/CE*, pentru tractoare agricole și forestiere. Standardele **Stage III**, care sunt împărțite în etape **Stage III A** și **III B** intră în vigoare în 2006, respectiv 2013, **Stage IV** urmând să intre în vigoare în 2014. Suplimentar la aceste etape au fost adoptate în 2010: *Directiva 2010/26/EU*, directivă ce prevede mai multe detalii tehnice cu privire la testarea și aprobările standardelor **Stage III B** și **Stage IV** ale motoarelor, și *Directiva 2010/22/EU*, ce modifică legislația anterioară aplicabilă pentru tractoare agricole și forestiere.

Standardele **Stage III/IV**, în plus față de categoriile de motoare reglementate la **Stage I/II**, acoperă motoarele locomotivelor, automotoarelor feroviare și motoarelor navale utilizate pentru navele de navigație interioară.

Standardele Stage III A și Stage III B și Stage IV pentru motoarele diesel nonrutiere sunt enumerate în tabelul 2.2, tabelul 2.3, respectiv tabelul 2.4. Aceste valori limită se aplică tuturor motoarelor diesel nonrutiere din gama de putere indicată pentru utilizare conform tabelelor, cu excepția motoarelor de pe locomotive, automotoarelor feroviare și navelor de navigație interioară [60]. Standardele Stage III/IV includ de asemenea, o limită pentru emisiile de amoniac, care nu trebuie să depășească o medie de 25 ppm pe parcursul ciclului de testare.

Tabelul 2.2. Standardul Stage IIIA pentru motoare nonrutiere [100]

Categoria	Puterea netă	Data intrării în vigoare*	CO	NO _x +HC	PM
	kW		g/kWh		
H	130 ≤ P ≤ 560	2006.01	3.5	4.0	0.2
I	75 ≤ P < 130	2007.01	5.0	4.0	0.3
J	37 ≤ P < 75	2008.01	5.0	4.7	0.4
K	19 ≤ P < 37	2007.01	5.5	7.5	0.6

*pentru motoarele cu turație constantă este: 2011.01 pentru categoriile H, I and K; iar pentru categoria J, data este : 2012.01.

Tabelul 2.3. Standardul Stage IIIB pentru motoare nonrutiere [60]

Categoria	Puterea netă	Data intrării în vigoare*	CO	HC	NO _x	PM
	kW		g/kWh			
Stage I						
L	130 ≤ P ≤ 560	2011.01	3.5	0.19	2.0	0.025
M	75 ≤ P < 130	2012.01	5.0	0.19	3.3	0.025
N	56 ≤ P < 75	2012.01	5.0	0.19	3.3	0.025
P	37 ≤ P < 56	2013.01	5.0	4.7*		0.025

* NO_x+HC

Tabelul 2.4. Standardul Stage IV pentru motoare nonrutiere [60]

Categoria	Puterea netă	Data intrării în vigoare	CO	HC	NO _x	PM
	kW		g/kWh			
Q	130 ≤ P ≤ 560	2014.01	3.5	0.19	0.4	0.025
R	56 ≤ P < 130	2014.10	5.0	0.19	0.4	0.025

Standardul **Stage IIIB** introduce limita PM de 0,025 g / kWh, reprezentând o reducere de aproximativ 90% a emisiilor față de **Stage II**. Etapa IV introduce de asemenea limitări foarte stricte în ceea ce privește emisiile de NO_x, și anume de 0,4 g / kWh, care va solicita utilizarea metodelor de posttratare.

În ceea ce privește tracțiunea feroviară, standardele **Stage IIIA** și **Stage IIIB** au fost adoptate pentru motoarele de peste 130 kW, utilizate pentru propulsia locomotivelor (categoriile R, RL, RH) și automotoarelor (RC), conform tabelului 2.5 și tabelului 2.6 [60].

Pentru a reprezenta emisiile în condiții reale, autoritățile din Comunitatea Europeană (CE) împreună cu Agenția pentru protecția mediului înconjurător (EPA) din SUA au elaborat o nouă procedură de testare Ciclu tranzitoriu nonrutier (NRTC-**NonRoad Transient Cycle**). Testul NRTC este un ciclu de conducere tranzitorie pentru motoarele diesel nonrutier și va fi utilizat la nivel internațional pentru certificarea/omologarea emisiilor. Ciclul presupune conducerea tranzitorie a motorului pe un dinamometru cu un program de conducere de durată totală de aproximativ 1200 de secunde [60].

Tabelul 2.5. Standardul Stage IIIA pentru tracțiunea feroviară [60]

Categororia	Puterea netă	Data intrării în vigoare*	CO	NO _x +HC	PM
	kW		g/kWh		
RC A	130 < P	2006.01	3.5	-	4.0
RL A	130 ≤ P ≤ 560	2007.01	3.5	-	4.0
RH A	P > 560	2009.01	3.5	0.5*	-
RC A	130 < P	2006.01	3.5	-	4.0

* HC = 0.4 g/kWh și NO_x = 7.4 g/kWh pentru motoare cu P > 2000 kW și D > 5 literii/cilindru

Tabelul 2.6. Standardul Stage IIIB pentru tracțiunea feroviară [60]

Categororia	Puterea netă	Data intrării în vigoare	CO	HC	NO _x	PM
	kW		g/kWh			
RC B	130 < P	2012.01	3.5	0.19	-	2.0
R B	130 < P	2012.01	3.5	-	4.0	-

Rezultatele finale ale emisiilor reprezintă o medie ponderată de 10% pentru pornire la rece și 90% pentru pornire la cald, emisii măsurate conform ISO 8178. ISO 8178 este o colecție de cicluri de testare în starea de echilibru (NRSC – **NonRoad Stady Cycle**, de tip C1, C2, D1, F, etc), concepute pentru diferite clase de motoare și echipamente (Tabelul 2.7). Fiecare dintre aceste cicluri reprezintă o succesiune de mai multe moduri de stare de echilibru cu factorii de ponderare.

Standardele UE de emisii ale motoarelor nonrutier, specifice, cuprind de obicei două seturi de date pentru punerea în aplicare[60]:

- datele de omologare, după care toate modelele noi omologate trebuie să respecte standardul;
- data plasării pe piață (sau prima înregistrare), după care toate motoarele noi introduse pe piață trebuie să respecte standardul.

Tabelul 2.7. Modul de încercare a motoarelor din clasa B în ciclul NRSC [60]

Modul	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cuplu, [%]	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0
Turația	Viteză maximă evaluată					Viteză intermediară					Ralanti
Veichule Nonrutiere											
Tip C1	0.15	0.15	0.15	-	0.10	0.10	0.10	0.10	-	-	0.15
Tip C2	-	-	-	0.06	-	0.02	0.05	0.32	0.30	0.10	0.15
Locomotive											
Tip F	0.25	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	0.60
Notă:											
<ul style="list-style-type: none"> • cuplu motor este exprimată în procente din cuplul maxim disponibil la o turație dată a motorului; • viteza evaluată este viteza la care producătorul specifică puterea nominală a motorului; • turația intermediară este turația corespunzătoare cuplul motor maxim. 											

Producătorii de motoare și echipamente au efectuat presiuni asupra autorităților de reglementare din CE, SUA și Japonia pentru a armoniza standardele de emisie la nivel mondial, cu scopul de a simplifica dezvoltarea motoarelor și omologarea emisiilor/certificare pentru diferite piețe. Limitele **Stage I / II** au fost în parte armonizate cu reglementările SUA pe când limitele **Stage III / IV** sunt armonizate cu normele SUA, standardele **Tier III/IV**.

Documentul *Clean Air*, care a fost semnat ultima dată în 1990, conform Standardelor naționale de calitate a aerului (NAAQS), ale EPA (Agenției pentru Protecția Mediului), referitor la poluanții considerați nocivi pentru sănătatea publică și mediul înconjurător, stabilește două tipuri de standarde de calitate naționale pentru aer [60] :

- *primar* - stabilește limitele pentru protecția sănătății publice, inclusiv pentru poluanții "sensibili", poluanți ce afectează persoanele astmatice, copiii și persoanele în vârstă;
- *secundar* - stabilește limitele pentru protecția bunăstării publice, inclusiv protecția împotriva poluanților care cauzează: reducerea vizibilității, daune animalelor, culturilor, vegetației și clădirilor.

Standardele prevăzute în acest document necesită revizuirea periodică a științei pe care standardele se bazează și standardelor în sine. EPA a stabilit standarde NAAQS pentru șase poluanți principali, numiți poluanți "criterii".

2.3. Principalele emisii poluante și/sau cu efect de seră

2.3.1. Generalități privind principalele emisii poluante și/sau cu efect de seră

În cazul motoarelor cu ardere prin comprimare (m.a.c) poluanții chimici sunt determinați de procesul oxidării combustibililor, care este un proces complex, ce generează, pe lângă CO₂, H₂O, N₂ și O₂ în exces, o serie de substanțe chimice - produși ai arderii incomplete - care se află în cantități mici (urme) în gazele de evacuare (2 % de volum) (Figura 2.1). Aceste substanțe sunt foarte toxice. La scară mondială produc efecte nocive importante asupra mediului înconjurător în general, și asupra sănătății oamenilor, faunei și florei în special.



Figura 2.1. Emisii provenite de la vehicule feroviare

Dintre cele aproximativ 1000 de substanțe chimice distincte identificate în gazele de ardere ale m.a.c, datorită efectului lor nociv dovedit, s-au limitat prin reglementări speciale, următoarele specii poluante:

- hidrocarburi – HC;
- monoxid de carbon – CO;
- oxizi de azot - NO_x (NO, NO₂);
- particule - PT (numai pentru motoarele cu aprindere prin comprimare);
- fum, măsură a efectului legat de vizibilitatea produsă de gazele de ardere.

Și alte substanțe produc efecte nocive incontestabile, pentru care sunt în discuții unele propuneri de limitări [60]:

- bioxidul de carbon;
- oxizii sulfurului;
- plumbul și compușii săi.

Bioxidul de carbon, CO₂, nu este o substanță toxică. Este considerată totuși o emisie periculoasă pentru că se elimină în atmosferă, acesta fiind procesat de vegetație. Se apreciază că jumătate din cantitatea de CO₂ eliberată prin ardere între anii 1900 – 1970 se găsește încă în atmosfera liberă. Concentrația de CO₂ a crescut de la 290 ppm în anul 1900, la 322 ppm în anul 1970 și la 368 ppm în anul 2000. Creșterea concentrației de CO₂ are ca efect o mărire a temperaturii aerului, ceea ce produce mai târziu o schimbare a climei, generând un lanț de alte efecte dezastruoase [38, 43].

Oxizii sulfurului SO_x (SO₂, SO₃) sunt considerați nocivi ca substanțe secundare, producând smogul umed. Combustibilii lichizi pentru motoare au un conținut redus de sulf (câteva procente în motorină, nul în benzină). Combustibilii industriali (cărbunele și păcura) sunt sursă majoră pentru dioxidul de sulf din atmosferă.

Plumbul și compușii săi prezintă nocivitate foarte mare. Pentru reducerea poluării cu aceste substanțe, se impune evitarea folosirii tetraetilului de plumb ca aditiv antidetonant în combustibilul folosit în m.a.i și găsirea unor înlocuitori nepoluanți.

2.3.2. Efectele nocive ale oxizilor de carbon

Orice substanță sau produs care, folosit în cantități, concentrații sau condiții aparent nepericuloase, prezintă risc semnificativ pentru om, mediu sau pentru

bunurile materiale (pot fi explozive, oxidante, inflamabile, toxice, nocive, corosive, iritante, mutagene, radioactive) se numește *substanță periculoasă*. Prin STAS 12574-87 [1] se stabilesc concentrațiile maxime (medie lunară sau anuală) admise ale unor substanțe poluante în aerul din zonele protejate.

Din punct de vedere ecologic, există deosebiri importante între diverse categorii de poluanți. Se deosebesc [74]:

- *noxe care dăunează direct organismului uman*, ca de exemplu oxizii de azot (NO_x), oxizii de sulf (SO_x), monoxidul de carbon (CO), precum și unele materiale grele;
- *noxe care acționează direct asupra vegetației*, ca de exemplu dioxidul de sulf (SO_2) și combinații dintre Cl și H_2 ;
- *noxe care stau la baza formării de acizi*, ca de exemplu SO_2 , SO_3 , NO și NO_2 , ce determină formarea ploilor acide și distrugerea pădurilor (Figura 2.2);



Figura 2.2. Pădure afectată de ploi acide [52]

- *noxe persistente în soluri*, care, în cadrul lanțului biologic plantă-animal-om, se acumulează și devin astfel nocive organismului uman, cum de altfel este cazul materialelor grele;
- *noxe care devin factor de influență ai climei*, ca de exemplu CO_2 și N_2O , precum și factori importanți în declanșarea efectului de seră al pământului sau contribuie la distrugerea stratului natural de ozon.

2.3.3. Efectele nocive ale oxizilor de carbon

Oxidul de carbon (CO) este unul dintre toxicii cu răspândirea cea mai mare, atât în mediul industrial cât și în mediul urban. Acesta pătrunde ajutat de următoarele proprietăți fizico-chimice: densitate apropiată de cea a aerului, difuzibilitate mare și afinitate ridicată a hemoglobinei pentru CO (de 210 ori mai mare comparativ cu O_2) rezultând carboxihemoglobina. Efectul principal este intoxicația, primele senzații ce apar fiind cefalea, oboseala și amețeala, precum și

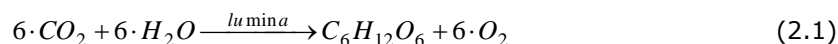
alte simptome cum ar fi: anorexia, greața, apatia, insomnia, tulburări de memorie și personalitate și chiar moarte.

Monoxidul de carbon este un gaz incolor, inodor și insipid emis în procesele de ardere, care este mai puțin dens decât aerul. La nivel național și, în special în zonele urbane, majoritatea emisiilor de CO în aer înconjurător provin din surse mobile. CO poate provoca efecte nocive asupra sănătății prin reducerea livrării de oxigen către organele corpului (cum ar fi inima și creierul) și țesuturi. La niveluri extrem de ridicate, de CO poate provoca moartea. Este un compus relativ stabil și participă la reacțiile chimice atmosferice. CO este un produs intermediar, prin care trec toți compușii conținând C când sunt oxidați. În prezența unei cantități suficiente de O₂ în timpul arderii, se produce CO, care apoi este imediat oxidat, obținându-se CO₂. Acest lucru nu se întâmplă în cazul funcționării motorului în regim de mers în gol sau de decelerare. Totuși se cunoaște că în condițiile obișnuite de funcționare, motoarele diesel produc cantități mai mici de CO, comparativ cu motoarele cu benzină. 67% din CO provine de la vehicule, combustia nefiind completă decât dacă motoarele merg în plină viteză [19].

CO participă, ca substanță secundară, la o serie de reacții atmosferice incluzând și formarea ozonului, în mod indirect, prin reacția cu radicalii hidroxili (OH), pe care îi consumă și care ar fi contribuit, în caz contrar, la neutralizarea unor gaze cu potențial mai mare de producere a efectului de seră, cum ar fi metanul.

Dioxidul de carbon (CO₂) este toxic numai în concentrații foarte mari (peste 5000 ppm). Dioxidul de carbon influențează clima prin efectul de seră creat asupra pământului, contribuția care-i revine fiind de aproximativ 50%. Soluțiile tehnico-economice pentru combaterea emisiilor de CO₂ nu sunt foarte dezvoltate, singura soluție fezabilă fiind accentuarea creșterii eficienței la producerea, transformarea și utilizarea energiei termice.

Folositor pentru mediu și sănătatea umană este faptul că CO₂-ul expirat de ființele vii, eliminat de industrie sau vehicule este folosit în procesul de fotosinteză al plantelor, dând naștere la glucide și oxigen:



Dioxidul de carbon întâlnit în atmosferă în proporție de 0,03% nu produce tulburări manifestate decât în situațiile în care este împiedicată trecerea gazului din sângele venos în alveola pulmonară și eliminarea lui prin aerul expirat. De fapt fenomenele toxice apar în momentul în care presiunea parțială a CO₂ din aer crește atât de mult încât împiedică eliminarea acestui catabolit. Inițial apare o creștere a CO₂ din sânge (hipercapnie) mai puțin datorită pătrunderii lui din aerul exterior, cât datorită autointoxicării organismului [37].

Primele tulburări apar în jurul concentrației de 3% și se manifestă prin tulburări respiratorii (accelerarea respirației), apare apoi cianoza, urmată de tulburări respiratorii și circulatorii însoțite de fenomene legate de dezechilibrul acido-bazic [37].

Monoxid de carbon (CO) este un gaz inodor și incolor format atunci când carbonul din combustibil nu este ars complet. Autovehiculele contribuie cu circa 60 la sută din totalul emisiilor de CO la nivel național. Alte motoare non-rutiere și vehicule (cum ar fi utilaje de construcții și bărci) contribuie cu aproximativ 22 la sută din totalul emisiilor de CO la nivel național (figura 2.3). Niveluri mai ridicate de CO, în general, apar în zone cu trafic intens și congestie a acestuia. În orașe, 95 % din totalul emisiilor de CO pot proveni de la vehiculele cu motor aflate în circulație. Cele

mai ridicate niveluri de CO în aerul liber apar de obicei în lunile reci ale anului când emisiile de CO provenite de la autovehicule sunt mai mari și condițiile de inversiune pe timp de noapte sunt mai frecvente.

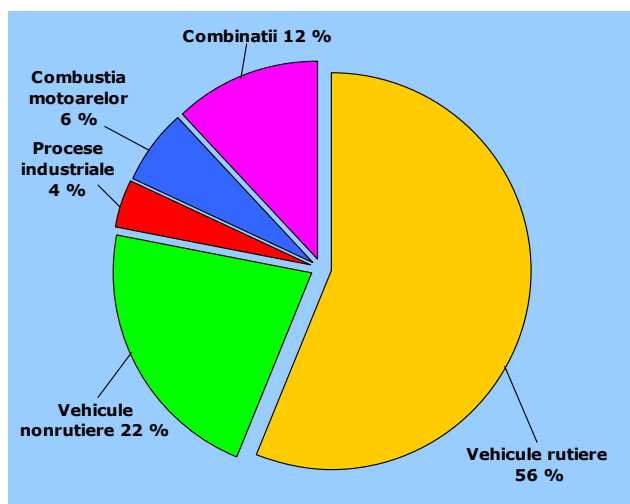


Figura 2.3. Ponderea emisiilor de CO de la diferite surse [53]

2.3.4. Efectele nocive ale oxizilor de azot

Oxizii de azot se formează prin reacția oxigenului atmosferic cu azotul la temperaturi și presiuni mari, specifice camerei de ardere, în atmosferă bogată de oxigen și la variații de timp de staționare mai mari. Azotul provine fie din combustibil fie din aerul introdus pentru ardere. Pe măsură ce crește temperatura, crește și ponderea mecanismului de geneză a NO_x și implicit concentrația în gazele de evacuare. NO_x este de fapt un simbol ce include mai multe specii chimice de oxizi de azot [67].

Printre oxizii din gazele de evacuare este prezentă și o anumită cantitate de dioxid de azot (NO_2), cantitate ce sporește la ieșirea gazelor în atmosferă, prin oxidarea suplimentară a monoxidului (NO).

Oxizii de azot și acidul azotic sunt foarte periculoși pentru mecanismul biologic uman datorită agresivității și toxicității lor. NO_2 este considerat în general ca cel mai nociv oxid de azot pentru sănătatea omului. Astfel statisticile atrag atenția asupra riscurilor de îmbolnăvire în corelație cu concentrațiile ambientale. Limitele admisibile și standardele sunt exprimate adesea cu referință directă la NO_2 și mai generală la NO_x . Aceștia afectează căile respiratorii, mucoasele, transformă exihemoglobina în metahemoglobină, ceea ce poate duce la paralizii. Expunerea mai îndelungată la acțiunea oxizilor de azot, chiar și la concentrații foarte mici de numai 0,5 ppm, slăbește organismul uman făcându-l în același timp foarte sensibil la infecțiile bacteriene (în special la copii) [36, 87]. Dioxidul de azot este considerat dăunător, generând efecte toxice în urma inhalării și producând disfuncții pulmonare, afecțiuni respiratorii acute, iritarea ochilor și în general a mucoaselor.

NO_2 produce și efecte dăunătoare asupra mediului. Se menționează, ploile acide, cu consecințe nefaste asupra vegetației. NO_x sunt esențiali în formarea ozonului la sol. Atunci când NO_2 este supus radiației ultravioletole solare, un atom

de oxigen se separă de molecula oxidului, se combină cu o moleculă de oxigen și se formează ozonul (O_3).

N_2O (protoxidul de azot), este un oxid care este încredințat ca și gaz cu efect de seră, dar și cu contribuții în distrugerea stratului de ozon. Are extrem de lungă durată de viață. Datorită găurilor generate în stratul de ozon, la mare altitudine, și care din păcate se extind, nu mai este filtrată radiația ultravioletă, ceea ce conduce la creșterea incidenței cancerului de piele în ultimul timp [83].

Emisiile de NO_2 constituie al doilea component ca pondere, care contribuie la producerea efectului de seră, după CO_2 și de asemenea au o contribuție importantă la formarea smogului fotochimic.

Peste 95% din cantitatea totală de NO_x este reprezentată de monoxidul de azot (NO) și doar restul sub formă de dioxid de azot (NO_2). Monoxidul de azot eliberat în atmosferă, în prezența oxigenului din aer și sub acțiunea razelor ultraviolete, se transformă, relativ repede, în NO_2 , care este foarte toxic. În anumite condiții, NO_2 împreună cu H_2O formează acidul azotic, HNO_3 [38].

Pe de altă parte, oxizii de azot au și efect coroziv. Acidul azotic atacă construcțiile metalice, provocând distrugerea lor. Acesta formează azotați cu diferiți cationi din atmosferă. Au o acțiune corozivă asupra cuprului, alamei, aluminiului, nichelului, etc. distrugând rețelele electrice, telefonice etc.

Oxizi de azot (NO_x) reprezintă un termen generic folosit pentru a descrie suma de NO , NO_2 și alți oxizi de azot. NO_x este un grup de gaze foarte reactive care joacă un rol major în formarea ozonului. Mulți dintre oxizii de azot sunt gaze incolore și inodore. Cu toate acestea, un poluant comun, dioxidul de azot (NO_2), împreună cu alte particule din aer poate fi adesea văzut ca un strat de culoare brun-roșcat peste multe zone urbane. Oxizii de azot se formează atunci când combustibilul este ars la temperaturi ridicate, ca într-un proces de combustie. Surse primare de NO_x sunt autovehiculele, distribuția energiei electrice și alte surse industriale, comerciale, rezidențiale care ard combustibili.

2.3.5. Efectele nocive ale hidrocarburilor

În această categorie intră produsele gazoase ale arderii incomplete și imperfecte. S-au identificat circa 400 de compuși individuali, care reprezintă majoritatea claselor de compuși organici, incluzând hidrocarburi alifatic saturate și nesaturate, hidrocarburi aromatice și compuși policiclici, compuși oxigenați cum sunt aldehidele, cetonile, alcoolii, eterii, acizii și esterii, precum și compușii azotați, sulfați și organometalici. S-a descoperit că benzpripenu, care este o hidrocarbură ciclică extrasă din gudron, exercită o puternică acțiune cancerigenă. Sunt nocive îndeosebi ca substanțe secundare, deoarece sunt o componentă principală în reacțiile de formare a smogului fotochimic [18, 103].

Cercetările biologice privind nocivitatea hidrocarburilor în special și a altor substanțe poluante în general se desfășoară în cadrul a doua categorii de studii biologice [67]:

- *studiul în vitro* pe lame de laborator, care se bazează pe corelația dintre efectul cancerigen și mutațiile genetice provocate de bacterii.
- *studiul în vivo*, care urmărește identificarea capacității de a provoca tumori canceroase pentru substanțele considerate cancerigene, introduse prin piele subcutanat sau prin sistemul respirator al animalelor de testare.

Transferarea acestor rezultate asupra oamenilor prezintă un grad vizibil de incertitudine. Totuși, există studii epidemiologice care arată o frecvență mai înaltă a

cancerului pulmonar la categoriile profesionale expuse inhalării gazelor de ardere de la m.a.i..

2.3.6. Efectele nocive ale compușii organici volatili (COV)

Compușii organici volatili cuprind o gamă largă de substanțe:

- hidrocarburi (alcani, alchene, compuși aromatici);
- halocarburi (tricloretilena);
- compuși oxigenați (alcooli, aldehide, cetone).

Toți aceștia sunt compuși organici carbonați, suficient de volatili pentru a exista sub formă de vapori în atmosferă. Majoritatea măsurătorilor de determinare a COV se realizează în funcție de conținutul global (total) de carbon, fără analiza componentelor individuale. Nu se pot face generalizări ale efectelor asupra sănătății produse de aceste substanțe, cu certitudine însă unele sunt toxice și chiar suspectate de a fi cancerigene. Mulți dintre COV contribuie la formarea secundară a poluanților și la reducerea stratului de ozon stratosferic.

Aldehidele reprezintă substanțele cu contribuția cea mai mare la formarea ozonului. Formaldehida și acetaldehida sunt prezente în gazele de evacuare din m.a.c. Ele sunt toxice și posibil cancerigene.

Olefinele sunt compuși nesaturați foarte reactivi, cu mulți atomi de carbon în moleculă și care pot accepta atomi de hidrogen sau de clor. Au tendința de a forma ozon și sunt foarte toxice. Una din olefinele cele mai periculoase este 1,3-butadiena [104].

Compușii aromatici sunt compuși ai carbonului în care atomii de carbon formează inele ciclice hexagonale. Compușii prezintă două sau mai multe inele. Hidrocarburile aromatice policiclice (PAH) se formează ca rezultat al pirolizei, în timpul arderii. Benzenul este incontestabil substanța cu efectul cancerigen cel mai agresiv asupra oamenilor, conform aprecierii făcute de IARC (Agenția Internațională de Cercetare a Cancerului), încadrându-se în grupa 1 de risc (conform tabelului 2.8) [103].

Tabel 2.8. Grupele substanțelor cu efect cancerigen [108]

Grupa	Descrierea categoriei
1	Efect cancerigen dovedit asupra oamenilor. Această categorie include substanțe chimice pentru care există dovezi suficiente din studii epidemiologice pentru a susține în relația cauză-efect între expunere și carcinogeneza.
2	Efect cancerigen posibil asupra oamenilor. Aceasta categorie include substanțe chimice pentru care, la o extremă, dovada caracterului cancerigen este aproape suficientă iar la cealaltă extremă, nu există această dovadă. Pentru a reflecta acest domeniu, categoria este împărțită în două subgrupe, în funcție de gradul de încredere acordat.
2A	Această subgrupă include substanțe chimice pentru care există cel puțin dovezi limitate de carcinogeneza asupra oamenilor și dovezi suficiente de carcinogeneza asupra animalelor.
2B	Această subgrupă include substanțele chimice pentru care sunt dovezi insuficiente de carcinogeneza asupra oamenilor și dovezi suficiente de carcinogeneza asupra animalelor.
3	Substanțe chimice neclasificabile, deci care nu pot fi clasificate în funcție de caracterul lor cancerigen asupra oamenilor.

2.3.7. Efectele nocive ale particulelor

Particulele reprezintă un amestec de substanțe organice și anorganice prezente în atmosferă, prezentând atât formă lichidă, cât și solidă. Majoritatea provin din gazele de ardere. Definierea particulelor se face implicit prin procedeul de măsurare a acestora, fiind în cazul m.a.c. materia colectată pe un filtru special la trecerea gazelor arse emise de un motor cu aprindere prin comprimare, gazele fiind diluate cu aer curat până la obținerea temperaturii acestora de maximum 52 °C [75].

După mărime, se consideră particule mari acele particule care au un diametru mai mare de 2,5 μm. Particulele mici sunt cele sub 2,5 μm. Emisia de particule din m.a.c. este mult mai mare decât de la m.a.s., chiar dacă acesta din urmă utilizează benzine etilate. Raportul acestor emisii variază între 6 și 22 g/l, iar dacă raportarea se face în g/km, valoarea emisiei de particule m.a.c./m.a.s. este 500:1 [75].

Există o îngrijorare crescândă cu referire la efectele pe care le produc particulele asupra sănătății. S-au făcut cercetări asupra fracțiunii de carbon din particule. Carbonul nu este toxic ca atare, dar proprietățile sale fizice particulare afectează funcția celulară a plămânilor. Particulele de carbon emise de motoarele diesel sunt foarte mici și penetrează adânc în plămân, unde se acumulează. În timp, acumularea carbonului determină întârzierea mecanismului de îmbospătare pulmonară.

Astfel, lucrătorii expuși la concentrații mari de gaze de eșapament emise de un motor diesel au raportat simptome ce le-au afectat starea de sănătate pe termen scurt, simptome ca: iritații ale ochilor, ale nasului și gâtului, arsuri la stomac, dureri de cap, slăbiciune, amorțeli, furnicături la nivelul extremităților, respirație șuierătoare și vărsături. Pe lângă aceste simptome, la o expunere îndelungată la gazele de eșapament ale unui motor diesel, apare tusea persistentă și mucus, bronșită și capacitatea pulmonară redusă [109].

Pulberi în suspensie este termenul general utilizat pentru un amestec eterogen de particule solide și picături de lichid ce se găsește în aer, inclusiv praf, mizerie, funingine, fum, și picături de lichid. Poluarea de particule este formată dintr-un număr de componente, inclusiv acizii (cum ar fi nitrații și sulfați), produse chimice organice, metale și particulele de sol sau de praf. Particulele pot fi suspendate în aer pentru perioade lungi de timp. Unele particule sunt mari sau întunecate suficient pentru a fi văzute ca funingine sau fum, altele sunt atât de mici încât, individual, acestea pot fi detectate numai cu un microscop electronic. Pulberile în suspensie pot fi:

- poluant primar;
- poluant secundar.

Poluantul primar reprezintă situația când particulele, cum ar fi praf sau negru de fum (funingine), sunt emise direct în aer. Acestea vin dintr-o varietate de surse, cum ar fi automobile, camioane, autobuze, fabrici, șantiere de construcții, drumuri neasfaltate, concasoare de piatră și arderea lemnului.

Poluantul secundar reprezintă situația când particulele sunt formate din aer, din schimbările chimice ale emisiilor de gaze primare. Ele se formează în mod indirect atunci când gazele din arderea combustibililor reacționează cu lumina soarelui și cu vaporii de apă. Acestea pot rezulta din arderea combustibililor în autovehicule, de la centrale electrice și în alte procese industriale.

Standardele fac referire directă la particulele a căror dimensiune este foarte mică, de ordinul micronilor, deoarece acestea sunt, în general, particulele care trec

prin gât și nas și intră în plămâni. Odată inhalate, aceste particule pot afecta inima și plămânii și provoacă efecte negative asupra stării de sănătate.

Particulele în suspensie sunt grupate în două categorii [8]:

- *particule grosiere inhalabile* - cele care se găsesc lângă drumurile prăfuite și industrii: sunt mai mari de 2,5 microni și mai mici de 10 micrometrii în diametru (PM_{10}).
- *particulele fine* - cele găsite în fum și ceață: sunt de cel mult 2,5 micrometrii în diametru. Aceste particule pot fi emise direct de la surse cum ar fi incendiile forestiere, sau se pot forma atunci când gazele emise de la centralele electrice, industrii și automobile reacționează în aer ($PM_{2,5}$).

2.3.8. Ozonului și peroxiacetil-nitratul (PAN)

Ozonul (O_3) este o formă triatomică a oxigenului molecular. Acesta nu este, de obicei, emis direct în aer, dar la nivelul solului este creat de o reacție chimică între oxizi de azot (NO_x) și compuși organici volatili (COV), în prezența luminii solare. Ozonul are aceeași structură chimică, indiferent dacă acesta se produce la distanță de mile deasupra pământului sau la nivelul solului și poate fi "bun" sau "rău", în funcție de localizarea sa în atmosferă.

În atmosfera Pământului la nivele joase, ozonul este considerat "rău". Gazele de evacuare ale autovehiculelor și emisiile industriale, vaporii de benzină și de solvenți chimici, precum și din surse naturale care emit NO_x și COV favorizează formarea ozonului. Ozonul de la nivelul solului este constituentul principal al smogului. Lumina soarelui și vremea caldă determină formarea acestuia în concentrații periculoase, lucru care îi conferă numele de poluant de vară.

La aceste altitudini joase, ozonul și ceilalți oxidanți produc o serie de efecte cum ar fi iritații ale mucoaselor și ale ochilor, insuficiențe respiratorii, tuse, dureri de cap etc.

Ozonul "bun" apare în mod natural în stratosferă la aproximativ 10 - 30 mile deasupra suprafeței pământului și formează un strat care protejează viața pe pământ de razele dăunătoare ale soarelui.

2.3.9. Efectele nocive ale compușilor cu sulf

Petrolul nerafinat (țițeiul) conține o fracțiune de compuși cu sulf. Aceștia sunt concentrați în fracțiunile grele și astfel se regăsesc în cantități mai mari în motorină decât în benzină. Cantitatea de sulf din motorină depinde de țițeiul din care este extrasă motorina și de măsura în care aceasta este tratată pentru reducerea sulfului. Când combustibilul este ars, majoritatea sulfului se transformă în dioxid de sulf, iar o cantitate mică (2 %) este oxidată până la trioxid de sulf, care se combină cu apa și cu alți compuși ai gazelor de evacuare, formând acidul sulfuric și sulfați. Astfel contribuie la creșterea emisiei totale de particule dar și la corozivitatea acidă a părților finale ale instalațiilor [72].

Bioxidul de sulf este o substanță toxică, remarcată prin mirosul și acțiunea iritantă asupra mucoaselor, provocând spasm și contracția mușchilor căilor respiratorii superioare. În concentrații ridicate provoacă iritație și senzație de arsură asupra mucoaselor respiratorii și conjunctivale, tuse, tulburări ale respirației, spasm glotic, senzație de sufocare.

Oxizii de sulf (SO_x) sunt gaze incolore formate din sulf de ardere. Gazele de SO_x se formează atunci când carburantul care conține sulf, cum ar fi cărbunele și

petrolul, este ars, și atunci când benzina este extrasă din petrol sau metalele sunt extrase din minereu. Dioxidul de sulf (SO_2) este poluant fiind un indicator al concentrațiilor de oxid de sulf în aerul înconjurător.

SO_2 se dizolvă în vapori de apă pentru a forma acid și interacționează cu alte gaze și particule în aer pentru a forma sulfatați și alte produse care pot fi dăunătoare pentru oameni și mediul lor. Peste 67% din SO_2 eliberat în aer (figura 2.4), sau mai mult de 13 milioane de tone pe an, vine de la distribuția energiei electrice, în special de la unitățile care ard cărbune [53].

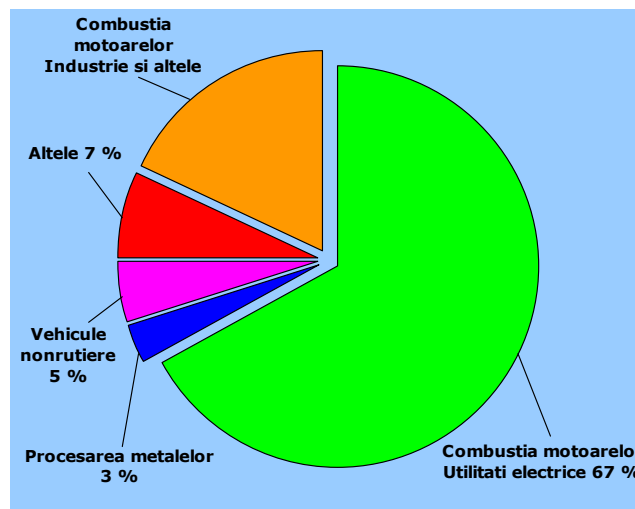


Figura 2.4. Distribuția emisiilor de SO_2 de la diferite surse [53]

De asemenea, locomotivele, navele mari și unele echipamente diesel nonrutiere ard în prezent combustibil cu conținut ridicat de sulf iar cantitățile emisiilor de SO_2 în aer sunt mari. SO_2 este legat cu o serie de efecte adverse asupra sistemului respirator.

2.3.10. Efectele nocive ale smogului fotochimic

Dintre toate substanțele poluante secundare, care rezultă prin interacțiunea substanțelor primare sau dintre acestea și aer, în anumite condiții de umiditate, temperatură și radiație solară, cele mai active sunt HC (hidrocarburile). Ele contribuie la formarea smogului fotochimic. Smogul fotochimic, specific unor zone cu circulație verticală redusă a aerului și insolație puternică (Tokio, California), se produce în urma unui lanț de reacții la care participă peste 200 compuși. Mecanismul acestor reacții nu se cunoaște. Reproducerea în laborator nu a fost încă posibilă. Smogul (uscă) se instalează brusc, reducând vizibilitatea la zero și este dăunător, mai ales pentru persoanele cu suferințe cardio-respiratorii.

Oxizii de sulf contribuie major la formarea smogului (umed). În mediul încărcat cu vapori de apă, oxizii de sulf și oxizii de carbon generează o atmosferă sufocantă, reducând vizibilitatea până la zero. Prima situație catastrofală s-a înregistrat la Londra în 1954, când au decedat 3500 de persoane. Pericolul de producere a smogului umed este frecvent activat și în condițiile din bazinul Ruhr din Germania, zonă industrială cu o densitate foarte mare de populație [83]

2.3.11. Plumbul

Plumbul (Pb) este un metal ce se găsește în mod natural în mediu, precum și în produsele fabricate. Datorită proprietăților fizice unice care îi permit să fie ușor de format și turnat, plumbul a fost folosit în multe aplicații.

Istoric, surse majore de emisii de plumb au provenit din industria autovehiculelor (cum ar fi autoturisme și camioane) și sursele industriale (figura 2.5 a și b) datorită emisiilor provenite din arderea combustibililor cu Pb și din industria de prelucrare a metalelor. Cele mai ridicate niveluri de plumb în aer sunt în general găsite lângă topitoriile de Pb [53].

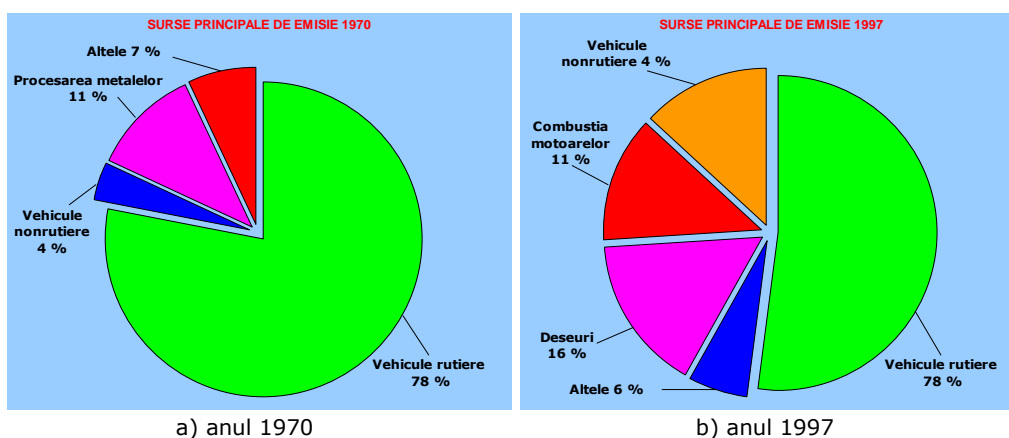


Figura 2.5. Distribuția emisiilor de Pb de la diferite surse de emisie [53]

Efectele nocive ale diferiților poluanți în aer, la diferite concentrații, sunt prezentate în tabelul 2.9.

Tabelul 2.9. Efectele unor poluanți asupra omului [74]

Poluant	Efect	Concentrație [ppm]
SO ₂	Suportabilă o oră Concentrație pentru 8 ore Pragul perceptabil mirosit Concentrația maximă pentru ședere permanentă	200 5÷15 2÷5 0,1÷0,2
H ₂ SO ₄	Moarte rapidă Tulburări după 2-3 ore Tulburări după 8 ore Măsurabil	1500 150 20 2
CO	Simptome grave după o oră Tulburări după 8 ore Neglijabil la șederea permanentă	2000 100 20
NH ₃	Mortal după 30 de minute Tulburări după 8 ore Sesizabil olfactiv	4000 100 26
Hidrocarburi	Tulburări după 8 ore	500
CO ₂	Tulburări după 8 ore	5000

2.4. Stadiul actual al emisiilor de noxe

2.4.1. Evaluare prin calcul

2.4.1.1. Aprecieri teoretice

Din punct de vedere al motoarelor diesel, și nu numai, se constată existența unui impact negativ pe care îl au aceste motoare asupra mediului prin faptul că ele poluează. Această poluare este datorată emisiilor nocive și zgomotului, ca factori principali, dar și altor inconveniente, de o importanță mai redusă, dar nu de neglijat, cum ar fi: scurgerile de ulei și/sau combustibil, deșeurile din procesul de fabricație și/sau de reciclare al vehiculelor etc.

Cel mai mare efect poluant provenit de la motoarele cu ardere internă provine de la prezența emisiilor de gaze nocive în gazele de ardere, emisii care apar datorită arderii incomplete (masa combustibilă nu se oxidează complet) și imperfecte (prezența CO, C_nC_m în gazele de ardere) a combustibilului în m.a.c., dar și ca urmare a unor mecanisme standard de geneză (cazul NO_x – format prin așa numitul mecanism Zeldovich) [92].

În cazul unui ciclu diesel, arderea ideală a combustibililor ar trebui să genereze doar compuși stabili și netoxici în gazele de ardere (O₂, N₂, H₂O), în prezența CO₂. În condiții reale, acest lucru nu este posibil, emisiile conținând și poluanți: NO_x, SO₂, CO, CH₄, N₂O etc precum și gaze cu efect de seră: CO₂, așa cum este prezentat în figura 2.6.

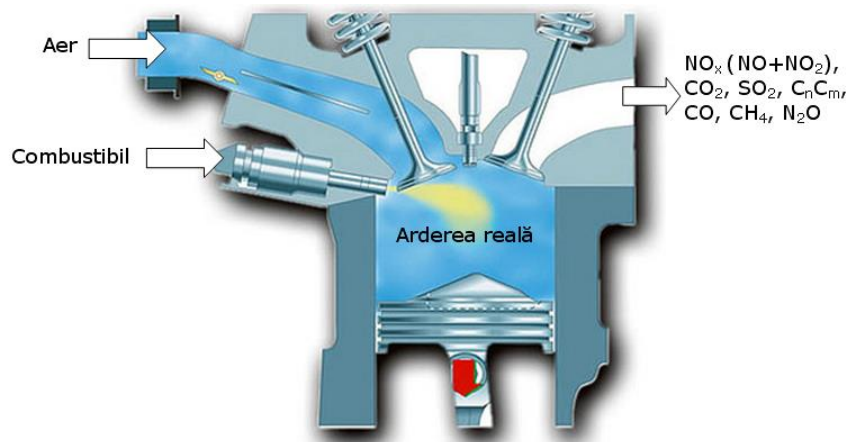


Figura 2.6. Arderea reală a combustibililor [49]

2.4.1.2. Cazul arderii unui singur combustibil (cel de bază)

Un parametru foarte important în calculul arderii este coeficientul excesului de aer λ . Analizorul de gaze nu măsoară direct acest parametru, el este calculat ca și raportul dintre CO_{2max} și CO₂.

$$\lambda = \frac{L_{\min}}{L} \quad [-] \quad (2.2)$$

unde:

L^{\min} este aerul minim necesar arderii, în $\text{m}^3\text{N/kg}$,

L - cantitatea reală de aer, în $\text{m}^3\text{N/kg}$.

Calculul arderii se realizează în mai multe etape și se bazează pe:

a) compoziția procentuală masică a motorinei :

$$c = 85,7 \%$$

$$h = 13,3 \%$$

$$o = 1 \%$$

b) puterea calorică inferioară a motorinei H^i , garantată prin buletinul de analiză și verificată experimental prin testare în bomba calorimetrică:

$$H_i = 42418 \text{ J/kg}$$

Astfel oxigenul minim necesar arderii este:

$$O^{\min} = \frac{22,414}{12} \cdot \left[c + 3 \cdot \left(h - \frac{o-s}{8} \right) \right] \quad [\text{m}^3 \text{N/kg}] \quad (2.3)$$

unde:

22,414 este volumul molar în condiții normale, în m^3/kmol ,

c - participarea masică a carbonului, în valoare absolută,

h - participarea masică a hidrogenului, în valoare absolută,

o - participarea masică a oxigenului, în valoare absolută,

s - participarea masică a sulfului, în valoare absolută.

Aerul minim necesar arderii este:

$$L^{\min} = \frac{O^{\min}}{0,21} \quad [\text{m}^3 \text{N/kg}] \quad (2.4)$$

unde:

O^{\min} este cantitatea de oxigen minimă necesară arderii

Cantitatea reală de aer devine:

$$L = \lambda \cdot L^{\min} \quad [\text{m}^3 \text{N/kg}] \quad (2.5)$$

unde:

L^{\min} este aerul minim necesar arderii, în $\text{m}^3\text{N/kg}$,

λ - coeficientul excesului de aer, adimensional.

Produsele arderii sunt exprimate prin:

- cantitatea de dioxid de carbon, provenit din carbonul din motorină:

$$V_{CO_2} = \frac{22,414}{12} \cdot c \quad [m^3_N/kg] \quad (2.6)$$

unde:

c este participarea masică a carbonului, în valoare absolută, în combustibil

- cantitatea de dioxid de sulf provenit doar din sulful conținut de combustibil:

$$V_{SO_2} = \frac{22,414}{32} \cdot s \quad [m^3_N/kg] \quad (2.7)$$

unde:

s este participarea masică a sulfului, în valoare absolută, în combustibil.

- cantitatea de oxigen, provenit doar din aerul neutilizat în ardere

$$V_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O^{\min} \quad [m^3_N/kg] \quad (2.8)$$

unde:

λ este coeficientul excesului de aer,

O^{\min} - cantitatea de oxigen minim necesar arderii.

- cantitatea de azot, provenit atât din azotul din combustibil, cât și din azotul din aerul introdus în exces pentru ardere (în proporție volumică de 0,79):

$$V_{N_2} = \frac{22,414}{28} \cdot n + 0,79 \cdot L \quad [m^3_N/kg] \quad (2.9)$$

unde:

n este participarea masică a azotului în combustibil, în %

L - cantitatea reală de aer.

- cantitatea de umiditate din gazele de ardere, provenită, din oxidarea hidrogenului și din umiditatea din aerul introdus pentru ardere:

$$V_{H_2O} = \frac{22,414}{2} \cdot h + \frac{\rho_{aer}^0}{\rho_{H_2O}^0} \cdot \frac{d}{1000} \cdot L \quad [m^3_N/kg] \quad (2.10)$$

unde:

h este participarea masică a hidrogenului în combustibil, în valoare absolută,

ρ_{aer}^0 - densitatea aerului uscat, în kg/m^3_N ,

$\rho_{H_2O}^0$ - densitatea vaporilor de apă, în kg/m^3_N ,

d- conținutul de umiditate în aer, în g/kg aer uscat.

Volumul gazelor de ardere este exprimat prin:

- cantitatea gazelor uscate:

$$V_{gu} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} \quad [m^3_N/kg] \quad (2.11)$$

unde:

V_{CO_2} - este cantitatea dioxidului de carbon, în m^3_N/kg ,

V_{SO_2} - cantitatea dioxidului de sulf, în m^3_N/kg ,

V_{O_2} - cantitatea oxigenului, în m^3_N/kg ,

V_{N_2} - cantitatea de azot, în m^3_N/kg .

- cantitatea totală a gazelor de ardere:

-

$$V_{gt} = V_{gu} + V_{H_2O} \quad [m^3_N/kg] \quad (2.12)$$

unde:

V_{gu} - este volumul gazelor de ardere uscate, în m^3_N/kg ,

V_{H_2O} - cantitatea de umiditate din gazele de ardere, provenită, din oxidarea hidrogenului și din umiditatea din aer, în m^3_N/kg .

Tabelul 2.10. Rezultatele calculului arderii pentru combustibilul de bază (motorină) și cinci încărcări.

Combustibil	Încărcare [kW]	λ [-]	O_{min} [m^3_N/kg]	L_{min} [m^3_N/kg]	L [m^3_N/kg]
Motorină	0	8,78	2,34	11,14	97,79
	150	2,44	2,34	11,14	27,18
	400	2,24	2,34	11,14	24,95
	430	2,03	2,34	11,14	22,61
	460	1,90	2,34	11,14	21,16
	500	1,84	2,34	11,14	20,49

Combustibil	Încărcare [kW]	V_{CO_2} [m^3_N/kg]	V_{H_2O} [m^3_N/kg]	V_{SO_2} [m^3_N/kg]	V_{O_2} [m^3_N/kg]	V_{N_2} [m^3_N/kg]	V_{gu} [m^3_N/kg]	V_{gt} [m^3_N/kg]
Motorină	0	1,60	2,86	0,04	18,19	140,49	160,29	163,16
	150	1,60	1,49	0,04	3,36	84,70	89,68	91,18
	400	1,60	1,84	0,04	2,90	82,94	87,45	89,30
	430	1,60	1,80	0,04	2,40	81,10	85,11	86,92
	460	1,60	1,78	0,04	2,10	79,95	83,66	85,45
	500	1,60	1,77	0,04	1,96	79,43	82,66	84,77

3. FORMAREA COMPUȘILOR NO_x. CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND GENEZA COMPUȘILOR DE NO_x ȘI POSIBILITATEA DE REDUCERE A CONCENTRAȚIEI ACESTORA

3.1. Poluanții și originea lor

Aerul este o mixtură de gaze ce conține aproximativ 78% azot și 21% oxigen, 0,1% argon, 0,03% CO₂ și alte gaze precum neon, heliu, metan, krypton etc. În proporții foarte mici. De asemenea sunt prezenți și vaporii de apă. Adicional acestor componente, sunt prezenți în cantități mici și constituenți ai așa numiților *poluanți* ai aerului (atmosferici).

Poluarea aerului reprezintă o condiție atmosferică în care constituenții poluanți sunt prezenți în concentrații ionice suficient de mari, mai mari decât concentrația normală, astfel încât pot afecta starea de stabilitate a atmosferei cu efecte asupra florei, faunei, sănătății umane etc. Acești constituenți sunt naturali, produși în aer în cantități relativ mici, precum și rezultați din activitățile desfășurate de om: transport, industrie etc.

Importanța și semnificația calității aerului poate fi judecată din punct de vedere al supraviețuirii și anume: un om poate rezista aproximativ 5 săptămâni fără mâncare, 5 zile fără apă dar îi este dificil să supraviețuiască chiar și 5 minute fără aer. Aerul are o importanță deosebită și din punct de vedere al simțului olfactiv (miros) și al simțului auditiv. Datorită acestor necesități vitale poluarea aerului a atras atenția întregii lumi și în momentul de față reprezintă una din problemele de interes global.

Clasificarea poluanților poate fi făcută după:

- starea fizică (stare de agregare):
 - solidă;
 - lichidă;
 - gazoasă.
- origine:
 - primari;
 - secundari.
- radicalul elementului chimic.

Poluanții solizi și lichizi sunt structurați sub formă de particule: praful, fumul, cenușa etc., prezenți în forma solidă, iar ceața și vaporii de spray pot fi menționați ca poluanți în stare lichidă. Oxizii de sulf, azot, carbon, ozonul și hidrocarburi fac parte din categoria poluanților în stare gazoasă.

Potrivit originii, poluanții emiși direct în atmosferă și care se găsesc sub aceeași stare, sunt numiți poluanți primari, ca de exemplu dioxidul de sulf SO₂, sulfatul de hidrogen H₂S, monoxidul de azot NO, monoxidul și dioxidul de carbon CO și CO₂. Poluanții secundari nu sunt emiși în atmosferă direct de la sursa de

producere, ci sunt acei poluanți care se formează în atmosferă în urma reacției poluanților primari cu alți constituenți din compoziția atmosferei. De exemplu, din această categorie pot fi menționați acidul sulfuric, nitrații și sulfații, ozonul etc.. Smogul fotochimic (ceața toxică) este un alt exemplu de poluant secundar, care este o mixtură de ozon, nitrați organici, hidrocarburi oxidate, formați în urma reacției fotochimice a oxizilor de azot și hidrocarburilor în prezența radiațiilor solare și în condiții de umiditate scăzută.

Al treilea tip de poluanți atmosferici, sub formă de radicali chimici sunt: sulful, carbonul, halogenul combinații cu hidrocarburi, particule și substanțe radioactive.

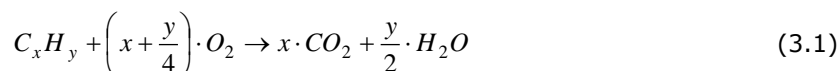
Printre sursele poluării aerului sunt cea naturală și antropogenică. Sursa naturală de poluare depășește, ca și cantități, cu mult emisiile poluante generate de sursa antropogenică. Pentru situațiile tipice urbane, activitățile antropogenice sunt singurele responsabile pentru poluarea aerului. Ca surse tipice naturale de poluare pot fi menționate erupțiile vulcanice, descompunerile biologice, focurile de păduri etc [72].

Emisiile centralelor termice, industriale și domestice pe bază de combustibil, transporturilor și cele rezultate în urma proceselor industriale pot fi incluse în categoria emisiilor antropogenice. În completare, produsele neincinerate, stocate și manipularea produselor petroliere, emanațiile provenite de la diferite depozite de materiale degradabile, depozite frigorifice dar și de la abatoare, constituie de asemenea surse de poluare atmosferică.

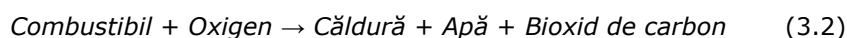
3.2. Oxizii de azot (NO și NO₂)

3.2.1. Formarea oxizilor de azot (NO și NO₂)

În procesul de combustie ideal, hidrocarburile din combustibil sunt arse în prezența oxigenului rezultând apa (H₂O) și monoxidul de carbon (CO₂). Ecuația care descrie acest proces este [88]:



Simplificând, ecuația unei reacții de combustie este:



Acest lucru nu este posibil deoarece arderea nu are loc în prezența oxigenului pur, ci în prezența aerului, a cărui compoziție chimică aproximativă este 78% azot, 21% oxigen și 1% alte componente. Conținutul ridicat de azot și faptul că arderea reală nu realizează niciodată o conversie de 100%, condiționează reacții secundare nedorite în care poluanții sunt emiși HC, CO, NO_x, PM și SO₂. O compoziție mai exactă a gazelor de evacuare ale unui motor diesel este prezentată în figura 3.1.

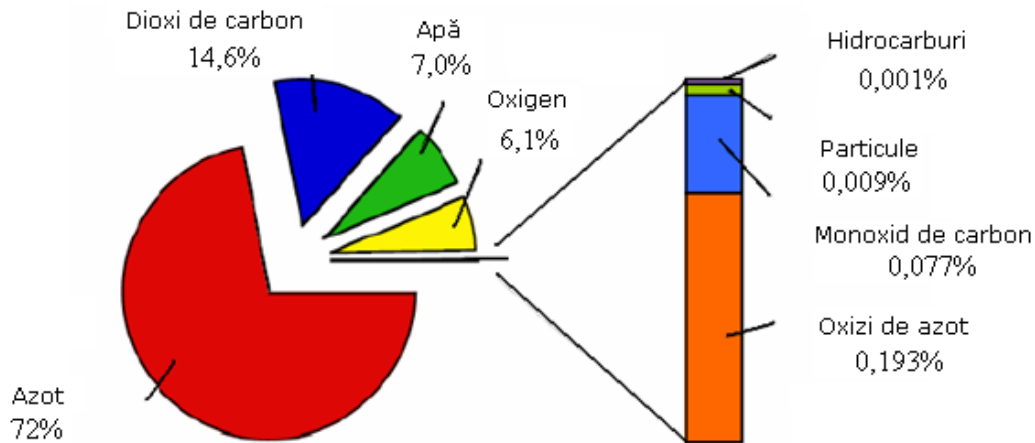


Figura 3.1. Compoziția medie a gazelor de ardere a unui motor Diesel cu injecție directă [81]

Aceste gaze constau în proporție de 99,7% din compuși nondăunători și numai 0,3% poluanți (NO_x, CO, HC, SO₂ și particule). În ciuda conținutului, aparent mic, al compușilor poluanți în gazele de evacuare, impactul acestora asupra climei globale este semnificativ mai mare. Prin urmare, emisia acestor gaze de către motoarele cu ardere internă, trebuie limitată prin lege. Gradul de emisii depinde de starea de încărcare a motorului sau de coeficientul excesului de aer λ . Cum coeficientul excesului de aer este definit ca fiind raportul dintre cantitatea de aer efectiv introdusă în focar și cea teoretică (stoechiometrică) cerută de ardere, λ poate avea valori mai mari de 1 rezultând un amestec sărac (aer în exces) sau valori mai mici de 1, rezultând un amestec bogat (exces de combustibil).

Pentru un raport de aer dat, rezultatul emisiilor de poluanți este diferit, cum se prezintă în figura 3.2. De asemenea se poate observa faptul că la un coeficient $\lambda \rightarrow 1$, adică, în sarcină maximă, aproape toate emisiile cresc foarte mult.

3.2.2. Oxizi de azot (NO_x)

Oxizii de azot pot fi compuși binari ai nitrogenului și oxigenului, sau combinații între aceștia, cum ar fi: monoxid de azot (NO), dioxid de azot (NO₂), protoxid de azot (N₂O), radicali nitrați (NO₃), (N₂O₃), tetraoxid dinitrogen (N₂O₄) și pentoxid dinitrogen (N₂O₅). În chimia atmosferică, poluarea aerului și domeniile conexe, oxizii de azot se referă în special la NO_x (NO și NO₂).

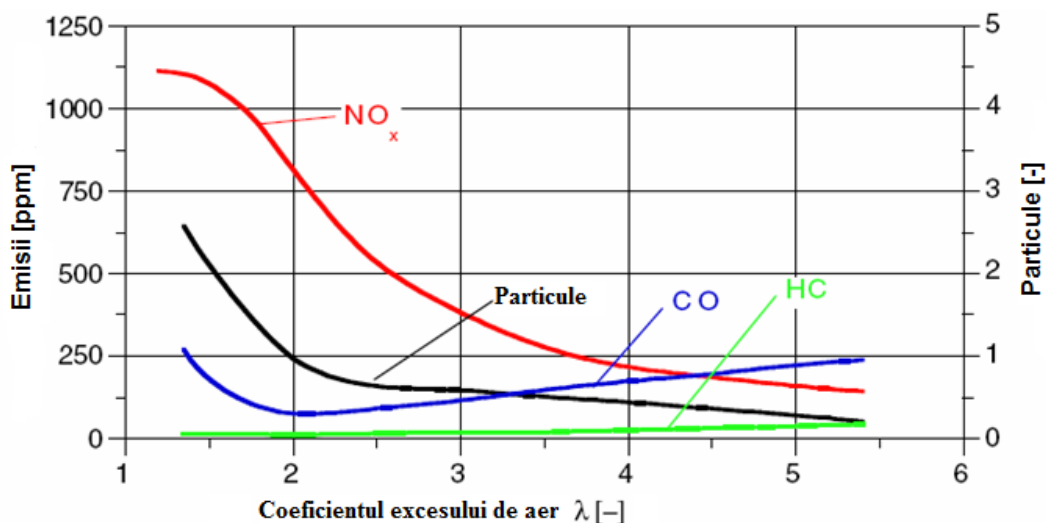


Figura 3.2. Dependența concentrației de poluanți în funcție de coeficientul excesului de aer (λ) pentru un motor diesel cu injecție directă [95]

NO_x se produce în timpul combustiei, în special la temperaturi ridicate, peste 1300 °C, mecanism care a fost descoperit pentru prima dată de către Zeldovich în 1946, și care îi poartă numele. Acesta este descris de următoarele reacții elementare [89, 94]:



Ecuatiile (3.4), (3.5) și (3.6) sunt cunoscute sub denumirea de mecanismul extins Zeldovich: N_2 reacționează în prezența oxigenului elementar (O) rezultând NO și N. Următorul pas este reacția azotului molecular (N) rezultat cu O_2 , în urma acestei reacții rezultând NO și O. Aceste reacții se desfășoară în lanț, iar la sfârșitul ciclului, acesta începe din nou.

Oxidul azotic din combustie provine din două surse: azot atmosferic (N_2 - este sursa cea mai importantă în motoarele diesel) și azot organic din combustibil ($N_{\text{combustibil}}$) [74],[97].

Atomii de azot lansați în reacție (3.4) sunt apoi oxidați în oxid nitric, în principal, de către un radical hidroxil (OH), conform reacției (3.6). Reacția (3.4) are o energie de activare foarte mare și este factorul care limitează viteza reacției al mecanismului și îl face extrem de sensibil la temperatură. Din acest motiv, oxid nitric format conform mecanismului Zeldovich, este cunoscut sub denumirea de **NO termic**.

Rata formării NO-ului termic la motoarele diesel este nesemnificativă la temperaturi mai mici de 1700 K, dar a devenit puternic accelerată la temperaturi de peste 2000 K pentru o valoare al $\lambda = 1,1$, atunci când concentrația de echilibru este atinsă. Această rată se poate reduce prin reducerea și controlul temperaturii, lucru care se poate realiza prin injectare de abur direct în camera de precombustie combinat cu un sistem de recirculare a gazelor de eșapament, prin umidificarea aerului în galeria de admisie, printr-o injecție târzie etc. [80, 94].

Proporția NO₂-ului din emisiile totale de NO_x, la motorul pe benzină, este de 1-10%, pe când la motoarele diesel, este de 5-15%. În interiorul motorului, NO₂ și radicalii OH sunt obținuți prin reacția NO cu HO₂. Reacția este descrisă de următoarea ecuație:

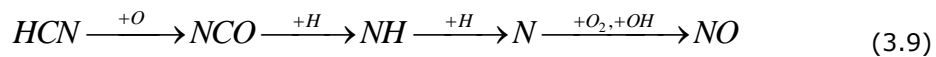


La temperatura mediului ambiant, echilibrul chimic pentru NO₂ este aproape complet asigurat. În schimb, NO-ul reacționează cu ozonul în prezența luminii, în continuare, echilibrul fiind restabilit după câteva ore sau zile, în funcție de condițiile de mediu [80].

Fenimore a arătat, în 1970, că nu toți oxizii nitrici formați în arderea substoichiometrică a hidrocarburilor ar putea fi explicați prin mecanismul Zeldovich, el sugerând că azotul din aer, în timpul combustiei, reacționează și formează NO prin intermediul unui alt mecanism (ecuația 3.8), care este inițiat de reacția dintre N₂ și radicali hidrocarburi (CH_i) [94]. Astfel se formează *NO-ul prompt*:



În cazul în care oxigenul este prezent, acidul cianhidric (HCN) și atomul de azot (N) produse reacționează în continuare formând oxid nitric, prin mai multe faze de reacție. Secvențele reacției sunt prezentate în următoarea ecuație (3.9):



Formarea oxidului de azot se produce foarte repede, iar oxidul de azot astfel format, este cunoscut sub numele de NO prompt. În contrast cu NO termic, NO prompt depinde foarte puțin de temperatură. În motoarele diesel, contribuția de NO la totalul emisiilor de NO este minoră, sub 5% [94].

Conform celui de-al treilea mecanism de reacție a azotului molecular în oxid nitric, prezentat în anii '70, oxigenul atomic (O) și N₂ formează un gaz instabil (N₂O sau *gaz ilariant*), lucru descris de reacția 3.10. Se formează *protoxidul de azot*.



unde M este un gaz oarecare.

În continuare, *gazul ilariant* format reacționează din nou, fie înapoi în N₂, fie în NO, în funcție de condițiile de reacție. În cazul în care raportul aer - temperatură crește, formarea de oxid de azot crește de asemenea. Reacția principală de formare a oxidului nitric este:



Din combustibil, acidul cianhidric (HCN) este cel mai important element în formarea NO. NO din combustibil este ușor dependent de temperatură, astfel încât oxidul nitric se formează ușor din azotul din combustibil și la temperaturi joase, chiar sub 1100 K [80].

Dintre aceste metode de formare a NO, cea mai importantă este *NO termic*, celelalte având o importanță relativ minoră.

3.3. Soluții pentru limitarea emisiilor de noxe

3.3.1. Generalități privind limitarea emisiilor de noxe

Cantitatea emisiilor din gazele de ardere ale motoarelor cu aprindere prin comprimare (m.a.c.) sunt limitate valoric prin norme legislative (cap. 2). În categoria emisiilor limitate legislativ intră monoxidul de carbon (CO), hidrocarburile (HC), oxizii de azot (NO_x) și particulele (PT, PM), lista fiind completată de dioxidul de carbon (CO₂), a cărui limitare se impune pentru reducerea efectului de seră. Una din măsurile elementare pentru reducerea emisiilor o reprezintă scăderea consumului specific de combustibil.

Comparativ, față de emisiile existente în gazele de evacuare ale m.a.s., în cazul gazelor produse de m.a.c. este prezent un poluant specific, format din particule *tip diesel*. Astfel se impune determinarea emisiilor solide și lichide din gazele de evacuare printr-un procedeu de măsură mai riguros decât cel al măsurării opacității fumului [26].

Metodele de reducere a concentrației particulelor se împart în metode active, care urmăresc combaterea formării acestora la sursă, prin optimizarea combustiei și metode pasive, care au ca scop reținerea și oxidarea particulelor, după ce acestea s-au format în camera de ardere. În categoria metodelor pasive, deci de post-tratare a gazelor arse, sunt cuprinse filtrele de particule și catalizatorii de oxidare. Alegerea celei mai potrivite metode de post-tratament depinde de analiza poziției particulelor din gazele arse, constatându-se că filtrele de particule sunt foarte eficiente în neutralizarea fracțiunii insolubile, iar filtrele cu catalizatori de oxidare în cazul neutralizării fracțiunii solubile [48].

Datorită tehnologiilor existente în momentul de față, problema particulelor este în mare parte rezolvată printr-o serie de măsuri (metode active), care sunt aplicate complementar procesului de combustie, supraalimentării și răcirii intermediare a aerului de admisie, precum și prin măsuri care vor viza reducerea consumului de ulei și a sulfului din combustibil. Se consideră că filtrele de particule pot constitui o soluție rapidă la această problemă.

3.3.2. Metode active de reducere a emisiilor poluante

3.3.2.1. Reducerea conținutului de compuși aromatici

Reducerea emisiilor de particule este strâns legată de reducerea consumului de ulei și de conținutul de sulf al combustibilului. Un efect favorabil în privința reducerii emisiilor de particule este obținut prin reducerea conținutului de hidrocarburi aromatice. Astfel, așa numiții combustibili diesel *reformulați* sunt din ce în ce mai des folosiți. Uzual, se consideră că un combustibil diesel *reformulat* are un număr cetanic (CC) superior combustibililor clasici. Una din metodele de obținere a combustibililor *reformulați* este creșterea raportului atomic H/C. Experimental s-a

demonstrat că raportul mare între numărul de atomi de H și numărul de atomi de C, H/C, la nivel molecular, obținut prin mărirea conținutului de C_nH_{2n+2}, conduce la creșterea numărului cetanic, dar cu o diminuare minoră a emisiilor [14].

Un combustibil diesel ideal reformulat este acela al cărui raport H/C este în jurul valorii de 0.5, raport care ar duce la scăderea emisiilor, având simultan un CC între 55 și 80.

3.3.2.2. Folosirea biocombustibililor

Din punct de vedere chimic, biodieselul este un amestec de mono-alchil esterii ai acizilor grași, obținut în mod obișnuit prin reacția de transesterificare a trigliceridelor cu un alcool inferior. Sursele obișnuite de trigliceride utilizate pentru obținerea de biodiesel le constituie uleiurile vegetale și grăsimile animale [118].

Cu alte cuvinte, biodieselul este un combustibil ecologic, alternativ, cu un conținut mai mare de oxigen, nesulfuros, biodegradabil și netoxic. Adaosul de biodiesel în combustibil reprezintă o modalitate de a reduce conținutul de sulf al acestora. Combustibilii astfel rezultați au un conținut variabil de sulf, conținut care se modifică în funcție de cantitatea de biodiesel care se amestecă cu motorina. Folosirea acestor amestecuri pentru motoarele diesel duce la o reducere considerabilă a emisiilor poluante pe bază de sulf [78, 108]. Acestea sunt puse în evidență în tabelul 3.1.

În urma arderii biodieselului, în combustie rezultă un conținut scăzut al emisiilor, lucru ce recomandă acest tip de combustibil drept un combustibil ideal în zonele costale, împădurite, în rezervații naturale și în orașele intens poluate. Prin ciclul de producere și utilizare a biodieselului se emite cu 80% mai puțin CO₂ față de situația folosirii combustibilului clasic și cu 100% mai puțin SO_x [91]. Din acest motiv, în literatura de specialitate, se folosește noțiunea de emisie de CO₂ neutru.

Tab.3.1. Reducerea emisiilor poluante prin utilizarea combustibililor de tip biodiesel [91]

Noxa emisă în gazele de eșapament	Referință	Variațiile emisiilor de noxe în %, față de referință	
		Amestec (B20) 20% biodiesel- 80%motorină	(B100) 100% biodiesel
Monoxid de carbon	100	-12,6	-43,2
Hidrocarburi neare	100	-11	-56,3
Particule în suspensie	100	-18	-55,4
Oxizi de azot	100	+1,2	+5,8
Oxizi de sulf	100	-20	-100
Sulfați	100	-20	-100

Prin arderea biodieselului ca și combustibil unic, se reduce peste 50% din nivelul total al emisiei (debitul) de hidrocarburi neare și cu 75-90% cel de hidrocarburi aromatice [108]. În același timp scade debitul de particule în suspensie emise în atmosferă. Singurul agent poluant care nu se reduce este NO_x-ul, al cărui concentrație poate fi chiar mai mare, în funcție de natura motorului și de regimul de funcționare. Se cunoaște că prin utilizarea biodieselului se reduce cu 90% riscul de îmbolnăvire comparativ cu situația în care s-a folosit același conținut de motorină.

3.3.3. Metode pasive de reducere a emisiilor poluante

3.3.3.1. Sistem de recirculare al gazelor de evacuare (EGR)

Sistemul de recirculare al gazelor, cunoscut sub numele de sistem de recirculare a gazelor de ardere EGR (**Exhaust Gas Recirculation**), este o altă tehnologie în vederea reducerii emisiilor de NO_x .

Rolul acestui sistem este de a recircula o parte din gazele de evacuare înapoi în cilindrii motorului (figura 3.3). La un motor diesel, gazele recirculate înlocuiesc o parte din excesul de oxigen din antecameră. Cunoscut fiind faptul că NO_x se formează în camera de ardere din amestecul azotului și oxigenului la temperaturi ridicate, sistemul EGR reduce această cantitate prin scăderea temperaturii din camera de combustie. Acest lucru de datorează faptului că aceste gaze sunt adăugate combustibilului, oxigenului și produselor de ardere ce urmează a fi arse, lucru ce crește capacitatea calorică specifică a conținutului din cilindrii, rezultând o temperatură scăzută a arderii adiabatice.

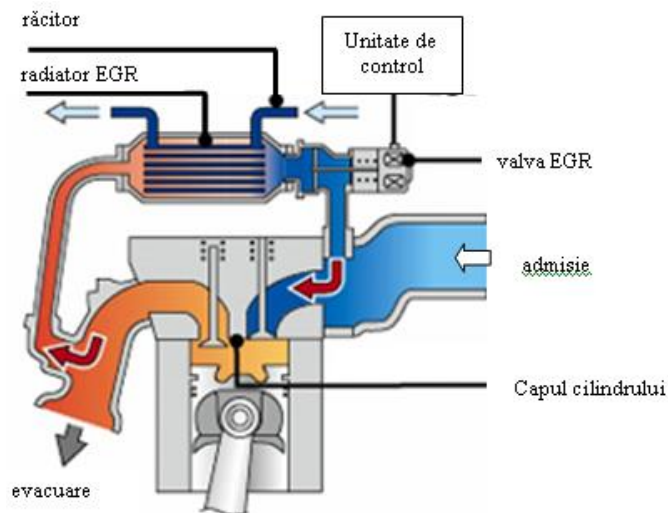


Figura 3.3. Sistem de recircularea a gazelor de ardere (EGR) [50, 71]

Cantitatea maximă a gazelor recirculate este limitată de cerința amestecului pentru a susține o ardere continuă în timpul combustiei. Un EGR excesiv în aplicațiile inferioare (turație și moment) poate provoca arderi parțiale și rateuri. Rata EGR poate varia între 5 și 50% și este controlată de unitatea de control a motorului (ECU–**Engine Control Unit**) pe baza coeficientului excesului de aer λ [71].

Eficiența unui sistem EGR instalat pe un motor depinde în mare măsură de proiectarea motorului și, uneori, duce la un compromis între eficiență și emisiile de NO_x .

Având un mod corect de funcționare acesta determină creșterea eficienței unui motor prin [34, 71]:

- reducerea pierderilor de accelerație;

- adăugarea gazelor inerte în sistemul de admisie - pentru o putere dată, accelerația rămâne deschisă, rezultând astfel o creștere a presiunii în galeria de admisie și pierderi de accelerație reduse;
- reducerea dispersiei căldurii;
- scăderea temperaturii de vârf din timpul arderii reduce formarea de NO_x, se reduce, de asemenea, pierderea de energie termică la suprafețele camerelor de combustie, permițând astfel o conversie mai mare a acestora în lucru mecanic în timpul expansiunii.

Sistemul nu poate fi folosit în sarcini mari pentru că ar determina micșorarea puterii maxime a motorului, reduce densitatea amestecului de admisie și, chiar la ralanti, determină o combustie instabilă și o funcționare dură.

Complementar, la acest sistem se poate implementa un sistem VTES (variable torque enhancement system). Astfel, gazele recirculate sunt introduse în camera de ardere la presiuni joase, lucru ce influențează pozitiv fenomenul de reducere al emisiilor poluante [61, 71].

3.3.3.2. Îmbunătățirea sistemului de injecție

Îmbunătățirea sistemului de injecție se poate face prin folosirea injectoarelor fine (figura 3.4a), cu un număr al orificiilor de injecție care variază între 5 și 14 având un diametru între 0,4 și 0,15 mm, ce funcționează la presiuni cuprinse între 250 până chiar la 2000 bar. Astfel este facilitată pulverizarea fină în trei trepte: preinjecție, injecție principală și postinjecție a combustibilului, care are o granulație mai scăzută la periferie și mai voluminoasă în centru, ceea ce duce la o ardere mai lentă și uniformă, deci la o creștere de presiune mai fină în camera de ardere [101, 102].

Presiunile mari de injecție se obțin prin utilizarea sistemului de injecție în conductă/rampă comună (common-rail). La motoarele Common Rail (figura 3.4b) combustibilul poate fi livrat în cinci etape (pilot injection, pre injection, main injection, after injection, post injection) în timpul unei singure arderi, așa numita injecție multiplă. Controlul electronic al motorului poate analiza și regla cantitatea de combustibil necesar pentru motor de peste 100 ori pe secundă. Etapele injecției combustibilului prezintă un rol important în reducerea emisiilor, menținându-se în același timp un consum optim de combustibil. Avantajele sistemului de injecție common-rail sunt presiunea mare de până la 1350 bar, care este disponibilă de la turații mici și grade mari de libertate în ceea ce privește preinjecția, injecția principală și postinjecția, cu presiuni mari ce pot fi selectate liber chiar de la turații mici. Pe lângă aceste avantaje se mai pot menționa [102]:

- controlul optim pentru pornirea injecției, volumul injecției, presiunea injecției;
- reducerea semnificativă a emisiei de impurități;
- consum de combustibil redus; nu este necesară nici o ajustare mecanică;
- comportare exemplară la accelerație și la preluarea instantanee a sarcinii;
- fiabilitate înaltă, volum redus de emisii, consum redus de ulei, combustie optimă datorită preinjecției.



Figura 3.4. Injector fin acționat de sistem common-rail [17, 119]

Rolul injecției pilot, sau așa numita injecție prealabilă, este acela de a asigura un proces delicat al arderii, de a preveni apariția bruscă a presiunilor foarte ridicate din camera de combustie și de a impune o dezvoltare progresivă a acestora, previne aprinderea întârziată a injecției principale. În aceste condiții se asigură o reducere semnificativă a zgomotelor produse de procesul de ardere, cu minimizarea emisiilor de oxid de azot dar cu o creștere a conținutului de CO și funingine. Preinjecția acționează procesul de combustie prin impunerea unei eliberări treptate a căldurii din această etapă, lucru ce duce la o reducere simultană a emisiilor de CO, funingine și determină o funcționare mai silențioasă a motorului. Scopul procesului de injecție ulterioară este reprezentat de o optimizare suplimentară a arderii, oxidarea ulterioară a funinginii și de o nouă reducere a volumului de emisii [47, 110].

3.3.3.3. Utilizarea camerei de ardere stratificată

După cum se știe, principiul de funcționare a motorul diesel se bazează pe injecția aerului proaspăt în cilindrii motorului care apoi este comprimat (raport comprimare de până la 25:1), prin comprimare acesta încălzindu-se. La sfârșitul cursei, temperatura aerului comprimat ajunge până la temperaturi de 700-900°C, moment în care are loc pulverizarea combustibilului cu ajutorul unui injector. Motorina astfel pulverizată se aprinde la contactul cu aerul încălzit, lucru ce duce la creșterea temperaturii și presiunii, factori care acționează asupra pistonului punându-l în mișcare, o mișcare liniară (de translație) în raport cu cămașa cilindrului. În continuare, biela transmite forța pistonului către arborele cotit transformând mișcarea liniară în mișcare de rotație [40].

În scopul reducerii emisiilor, funcționării mai bune din punct de vedere al consumului, al procesului de combustie dar și al zgomotului, s-a dezvoltat tehnologia camerei divizate după principiul stratificării (amestec bogat în camera separată, amestec sărac în camera principală).

În această categorie intră :

- motoare cu cameră de vârtej (turbulentă);
- motoare cu antecameră (camera de preardere);
- motoare cu cameră de vârtej și cu injecție directă.

La motoarele cu cameră de vârtej, camera separată (de formă cilindrică sau sferică) (Figura 3.5) comunică cu cilindrul printr-un canal de forma unui ajutoraj, dispus tangențial camerei separate. Astfel, în timpul comprimării în camera separată în care are loc injecția, se produce un vârtej puternic care mărește viteza de ardere.

Același vârtej produce în cilindru o mișcare circulară a aerului, mișcare favorabilă extinderii rapide și uniforme a frontului de flacără. Prin această circulație se asigură arderea în cilindru a combustibilului care s-a aprins în camera de vârtej. Volumul camerei de vârtej reprezintă 50-80% din volumul total al camerei de ardere [40].

La motoarele cu antecameră (cameră de preardere), injecția are loc într-o cameră separată, de formă cilindrică, tronconică sau sferică, reprezentând 25-40% din volumul total al camerei de ardere, și comunică cu cilindrul prin unul sau mai multe orificii de secțiune redusă care au rolul unor duze [82].



1. orificiul camerei de combustie
2. cameră de vârtej
3. vârtej
4. injector
5. cameră de vârtej
6. bujie incandescentă
7. adâncitură concavă
8. supapă
9. piston

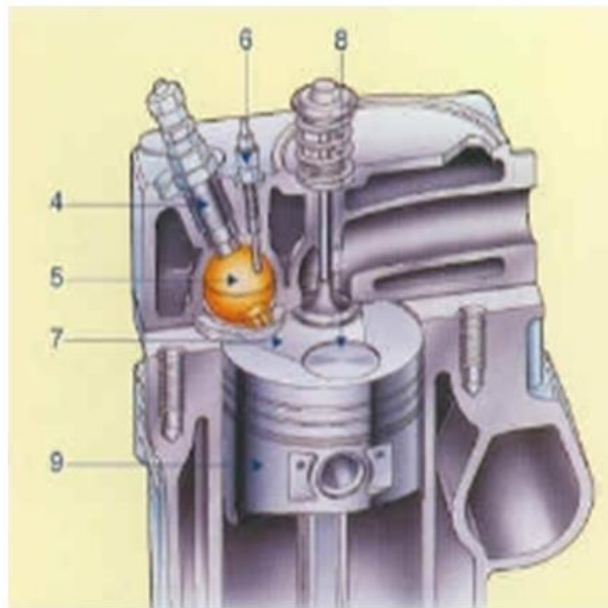


Figura 3.5. Motor cu cameră de vârtej [47]

La motoarele cu cameră de vârtej și cu injecție directă injectorul este proiectat astfel încât să dirijeze un jet direct în camera principală de ardere și altul (cu debit mai redus) în camera secundară de vârtej. Arderea începe în camera secundară, dând naștere unui curent invers în camera principală de ardere și favorizând procesul de ardere.

3.3.4. Metode pasive de reducere a emisiilor poluante

3.3.4.1. Generalități privind metodele pasive de reducere a emisiilor poluante

Metodele pasive de reducere a emisiilor poluante vizează păstrarea și oxidarea particulelor după ce s-au format în camera de ardere.

Problema arderii la motoarele diesel se datorează modului de operare a excesului de aer. Pentru valori ale $\lambda > 1$, pentru purificarea gazelor de eșapament nu poate fi folosit un catalizator cu trei căi deoarece nu este în domeniu de aplicare, acesta având nevoie de un raport stoechiometric aer-carburant $\lambda = 1$. Astfel, s-a recurs la alte procese catalitice. Aceste procese catalitice sunt utilizate în prezent în sistemele post-tratament utilizate pe mașini și au ca scop păstrarea și oxidarea

particulelor (CO, HC) după ce s-au format în camera de ardere și de filtrare a particulelor (funingine).

3.3.4.2. Oxidatorul catalitic (DOC)

Structura unui catalizator poate fi împărțit în trei (Figura 3.6):

- suport catalitic;
- strat de spălare (acoperire – wash-coat);
- metale prețioase în stratul activ.

Ca suport catalitic este folosit în special un monolit ceramic sau metalic, pe care se aplică stratul de spălare (wash-coat, un strat poros) pentru a crea o suprafață specifică mare și de a crește capacitatea de stocare de oxigen [120].

Materialele prețioase precum platină și/sau paladiu sunt utilizate în stratul catalitic activ de spălare. Utilizarea acestor metale prețioase promovează divizarea moleculelor de oxigen producând astfel o post-combustie a poluanților. Astfel este posibilă oxidarea monoxidului de carbon și hidrocarburilor la temperaturi ale gazelor de eșapament de circa 250 °C. Acest lucru este avantajos deoarece în cazul unei porniri la rece se realizează o rată de conversie mare. Rata de conversie realizabilă a poluantului este puternic dependentă de temperatură [81, 84]. Prin selectarea locului, timpul de încălzire poate fi variat. Cu toate acestea, trebuie găsit un compromis între încălzirea rapidă a catalizatorului (poziționarea lângă motor) și găsirea temperaturii maxime de funcționare [46].

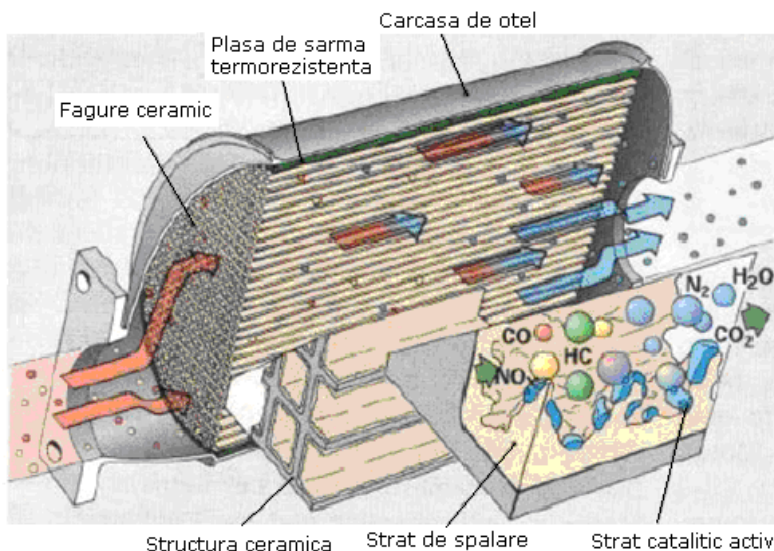


Figura 3.6. Structura unui oxidator catalitic [81]

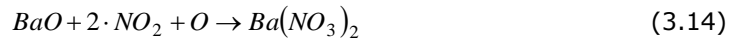
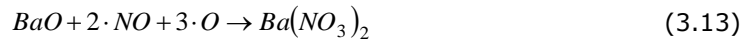
3.3.4.3. Catalizatorul de stocare - NO_x

Catalizator de stocare NO_x este o combinație între un convertor catalitic cu trei căi și o componentă de stocare de oxizi de azot. Funcția de stocare este realizată de materiale suplimentare din metal alcalin și alcalino pământoase din stratul de spălare.

În prima fază, NO la contactul cu particulele de platină din catalizator oxidează și formează NO₂ conform ecuației 3.12 [93]:



Ulterior, oxizi de azot prin contact direct cu componenta de stocare BaO reacționează și formează azotatul de bariu (Ba(NO₃)₂), conform ecuațiilor 3.13 și 3.14 [93].



Dacă toate particulele de BaO active sunt ocupate și capacitatea de depozitare epuizată, este posibil ca oxizi de azot din gazele de evacuare să fie complet eliminați. Există o creștere a scăpării de NO_x la sfârșitul catalizatorului [74]. Pentru regenerare, motorul trebuie să funcționeze cu un raport bogat aer-carburant. Datorită faptului că un astfel de raport, bogat de aer în diese, l care în mod normal nu se produce, el trebuie stabilit de exemplu, prin creșterea ratei EGR, injecție de motorină sau o creștere scurtă a ratei de injectare. În figura 3.7 este prezentat schematic principiul de lucru al catalizatorului de stocare [99, 106].

Ca dezavantaj al catalizatorului putem menționa sensibilitatea la sulf din combustibil, ducând la „otrăvirea patului activ” care captează oxizii de azot și, astfel, duce la o activitate redusă de catalizator și stabilitatea termică redusă a acestuia.

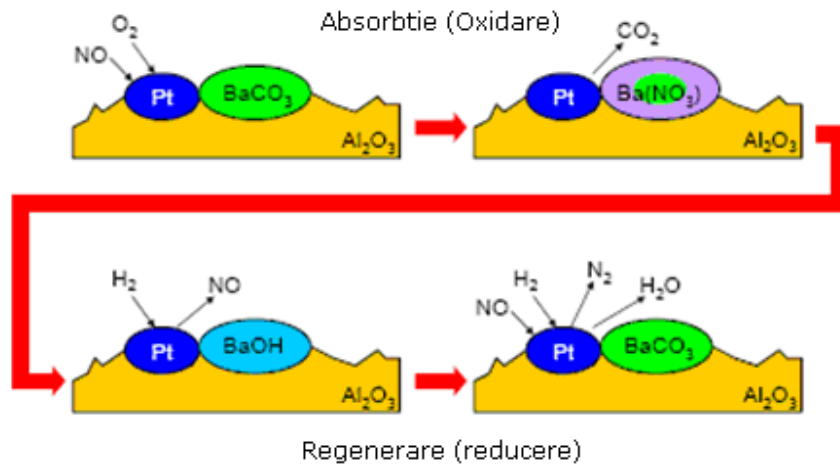


Figura 3.7. Catalizator de stocare, Amestecul dispersat al componentelor [106]

3.3.4.4. Catalizatorul selectiv de reducere (Selective Catalytic Reduction – SCR)

SCR reprezintă o metodă de conversie a oxizilor de azot NO_x, prin intermediul unui catalizator, în azot, N₂ și apă, H₂O. Pentru a avea loc reacțiile de conversie este nevoie de un gaz reducător care, uzual, este o soluție compusă din uree (32,5%) și apă de înaltă puritate (apă distilată) cunoscută sub numele de AdBlue, dar și alte soluții cunoscute precum amoniac anhidru, soluție apoasă de amoniac sunt cunoscute. Acestea sunt pulverizate în fluxul de fum sau de gaze de evacuare și sunt absorbite în catalizator.

De la început, această metodă a avut o arie de aplicabilitate relativ largă, cum ar fi cazane industriale, incineratoare ale deșeurilor solide, instalații de ardere, turbine cu gaz și motoare industriale unde și-a dovedit eficiența, cu un procentaj de reducere al emisiilor de NO_x între 70-95%. De aici a început lărgirea gamei de utilizare care include în prezent motoare diesel, cum ar fi cele de pe navele mari, locomotive diesel, turbine cu gaz și chiar automobile având aceeași rată de reducere [31, 44].

În acest context, problema aplicării pe vehiculele apare din faptul că agenții de reducere sunt stocați într-un rezervor separat și trebuie injectați cu ajutorul unui sistem performant de injecție în sistemul de evacuare. În funcție de modul de conducere a mașinii, care este în continuă schimbare de încărcare și turație, rezultând diferite compoziții ale gazelor, acest sistem trebuie să regleze permanent cantitatea agentului de reducere injectat. Reglarea continuă, în vederea obținerii unui nivel constant redus al emisiilor poluante, se face cu un senzor suplimentar și un sistem de control (Figura 3.8).

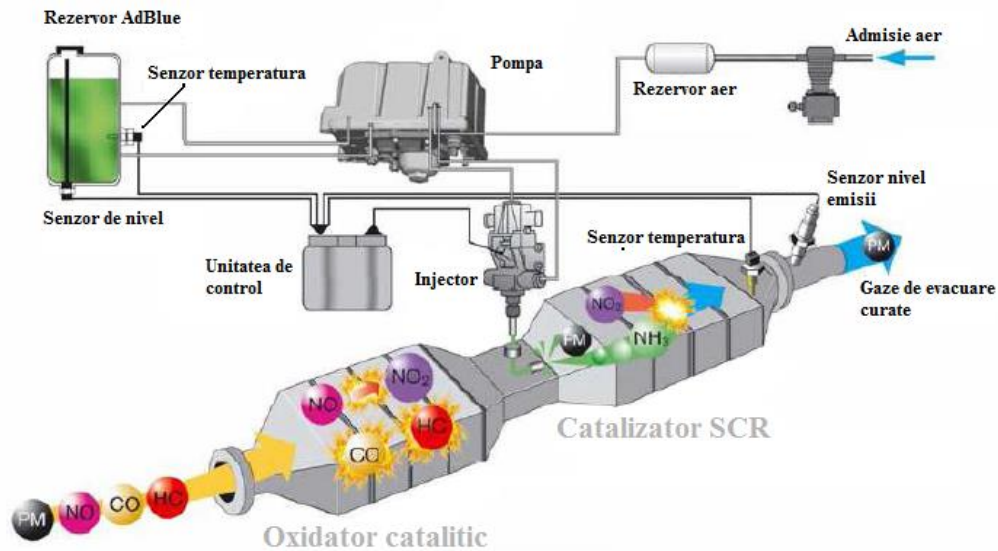


Figura 3.8. Sistem de Reducere Catalitică (SCR) [95]

Un mare avantaj al acestei metode este faptul că folosește ca reductant AdBlue, ureea astfel introdusă în amestec fiind produsă în cantități foarte mari pentru anumite fabrici, prin urmare are o infrastructură bine pusă la punct.

3.3.4.5. Bazele tehnologiei SCR

După cum s-a menționat mai sus, sistemul SCR se bazează pe injectarea ureei, sub formă apoasă sau solidă, în sistemul de eșapare urmată de reacțiile din interiorul catalizatorului (figura 3.9). Aceste reacții eliberează cantități importante de NH_3 , NH_3 care ia naștere în urma descompunerii termolitice și hidrolitice.

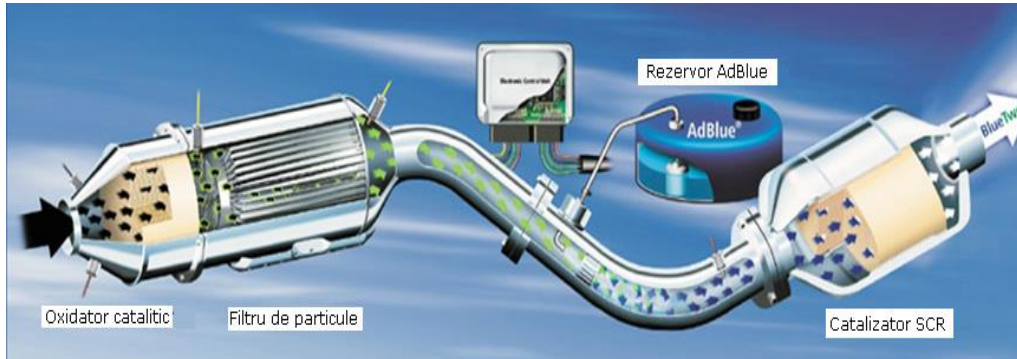


Figura 3.9 . Vedere interioară printr-un sistem SCR [51]

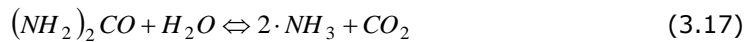
În prima etapă, termoliza, ce se realizează conform ecuației 3.15, soluția de uree introdusă de gazele fierbinți de eșapament este încălzită până când apa se vaporizează ($T > 135^\circ \text{C}$), iar din soluția de uree se dezintegrează o moleculă de NH_3 și una de acid izocianic (HNCO) [45, 115]:



În cea de-a doua etapă, acidul izocianic se descompune prin hidroliză, în prezența vaporilor de apă, în amoniac și dioxid de carbon, conform ecuației 3.16 [45, 115]:



Reacția generală de termohidroliză se exprimă conform ecuației 3.17 [45, 115]

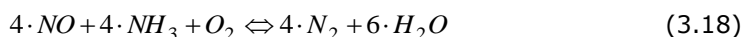


Pentru o secvență completă a termohidrolizei, reacția trebuie să respecte atât un timp de reacție cât și un anumit nivel al temperaturii. Pentru a sprijini reacțiile, catalizatorii folosiți ajută la accelerarea hidrolizei și reduc temperatura la 200°C . Rata de descompunere a ureei depinde în primul rând de calitatea de injectare și de calitatea amestecului uree cu gazele de eșapare. Pentru un mai bun amestec se pot include în sistemul de evacuare mixere, pentru a crește turbulența fluxului și astfel, pentru a asigura amestecarea completă [45, 115].

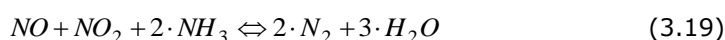
În sistemul de reducere catalitică (SCR), în funcție de raportul NO/NO_2 se disting trei reacții diferite:

- standard;
- rapid;
- NO_2 - SCR.

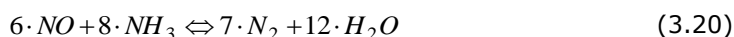
În cazul primei reacții, raportul oxizilor de azot din eșapament este de obicei de 90% NO și 10% NO_2 , dar acest raport depinde de punctul de funcționare. Din moment ce motorul diesel rulează la $\lambda > 1$, în evacuare este prezent oxigen în exces, oxigen folosit ca agent la reducerea NO . Această reacție stă la baza sistemului SCR și, în literatura de specialitate, este cunoscută sub denumirea de standard - SCR. (ecuația 3.18) [35, 45].



Cea de-a doua reacție asigură a denitrare bună în cazul funcționării staționare la o temperatură relativ constantă. Un dezavantaj pentru aplicații mobile îl reprezintă fereastra de temperatură îngustă în care rata optimă de conversie este realizată. Studiile au arătat că la un raport stoechiometric al dioxidului de azot/oxid nitric de 1:1, cu catalizator zeolit, chiar la temperaturi de 200°C se realizează o bună denoxare. În plus, produsele reacției, în funcție de temperatură, sunt obținute de până la zece ori mai repede decât în cazul standard-SCR. Această reacție este cunoscută sub numele de *SCR rapid* și are loc conform ecuației 3.19 [35, 45, 115].

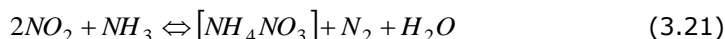


Chiar și cu rapid - SCR sunt consumate un mol NH₃ pentru un mol de NO_x. Aceasta lucru, prin urmare, determină o creștere așteptată a consumului de agent de reducere [24]. La reacția NO₂ - SCR (Dioxid de azot-SCR), dacă NO₂ este prezent în exces ca urmare a conversiei de 100% a NO, excesul de NO₂ va reacționa cu NH₃ conform ecuației 3.20 [35, 45].

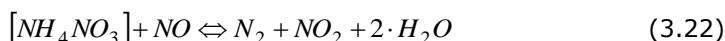


Reacția este mult mai lentă decât SCR rapid și decât SCR standard dar este avantajoasă deoarece utilizează NO₂ evitând astfel apariția acestuia în gazele de evacuare într-un procentaj mai mare de 50%.

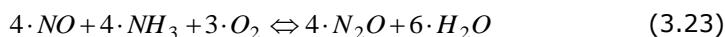
Formarea nitratului de amoniu are loc la temperaturi mai mici de 200°C, pe suprafața catalizatorului, conform ecuației 3.21[46]



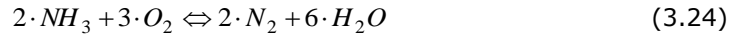
Nitratul de amoniu complex [NH₄NO₃] se formează în centrul catalizatorului activ și îi diminuează activitatea. Descompunerea [NH₄NO₃] și reactivarea suprafeței catalizatorului se face prin creșterea temperaturii conform ecuației 3.22 [46]



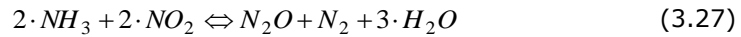
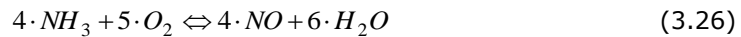
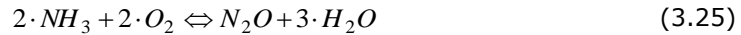
În afară de reacțiile dorite de denoxare, există, de asemenea, o serie de reacții adverse, *reacții nedorite*, în funcție de condițiile de funcționare predominante și proprietățile catalizatorului, proprietăți în funcție de care are loc reducerea de NO_x sau, în cel mai rău caz, sunt formați noi oxizi de azot. Un astfel de exemplu, care conduce la o reducere parțială a NO, dar cu formare de protoxid de azot (N₂O), are loc conform reacției 3.33 [46]:



Oxidarea directă a agentului reducător cu oxigen în gazele de eşapament conduce la un consum crescut al agentului de reducere, conform ecuației 3.34 [46]:



Această reacție este nedorită deoarece sunt consumate molecule de NH₃ deservite în mod normal pentru reducerea NO_x, scăzând astfel eficiența sistemului. Alte reacții adverse (ecuațiile 3.35, 3.36, 3.37) ce se produc în sistem sunt [46]:



O modalitate pentru sporirea activității catalizatorului este utilizarea structurii de canale cu substrat. Acest lucru poate fi util pentru direcționarea și pentru influența gradului de turbulență a fluxului, fără a crește rata de curgere, datorită scăderii excesive a presiunii. În figura 3.10 se pot observa diverse structuri adecvate pentru tehnologia SCR care permit permeabilitate radială și produc un echilibru de concentrare și de presiune al moleculelor în fluxul de evacuare [29, 79, 98].

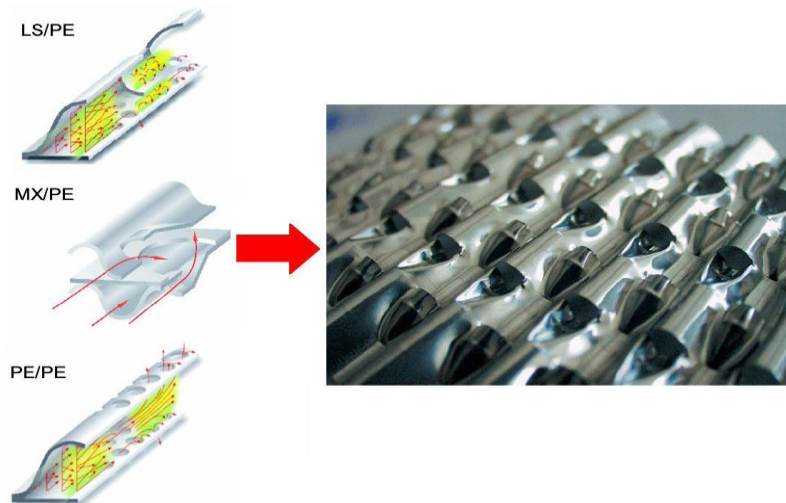


Figura 3.10 . Diferite structuri de canale din catalizator [79, 112, 114]

3.3.4.6. Reducerea noncatalitică selectivă

Procedeele SNCR se folosesc de obicei atunci când cheltuielile pentru denoxare nu trebuie să fie prea mari sau există pericolul unei otrăviri a catalizatorului, în cazul în care s-ar folosi procedeul SCR.

Condiția necesară este însă să se lucreze la temperaturi înalte și optime (700-900°C), capabile să asigure furnizarea energiei termice necesare pentru

descompunerea și vaporizarea agentului reducător care se injectează în curentul gazelor de ardere (Figura 3.11) [95].

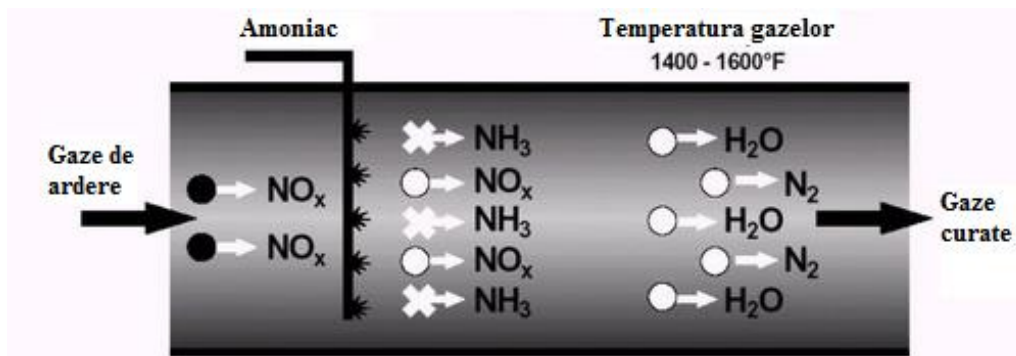


Figura 3.11. Sistem de reducere non-catalitică (SNCR) [95]

3.3.4.7. Filtre de particule

Sistemele actuale de filtrare păstrează, la funcționarea optimă, până la 99% din particulele din gazele de eșapament. Pentru a asigura funcționarea pe termen lung a filtrelor de particule și pentru a evita precolmatarea filtrului, este necesară în anumite intervale de timp o regenerare a acestora.

În filtre (figura 3.12) particulele de funingine sunt inițial stocate urmând ca apoi să fie arse la temperaturi de peste 600°C . Aceste temperaturi pot fi realizate numai la sarcină maximă. Incinerarea particulelor stocate se poate face și prin alte metode decât încărcarea maximă a motorului, independente de motor, și anume prin creșterea suplimentară a temperaturii prin intermediul unui arzător de combustibil, un sistem de injecție în plus, montarea în amonte de radiatoare electrice [98].

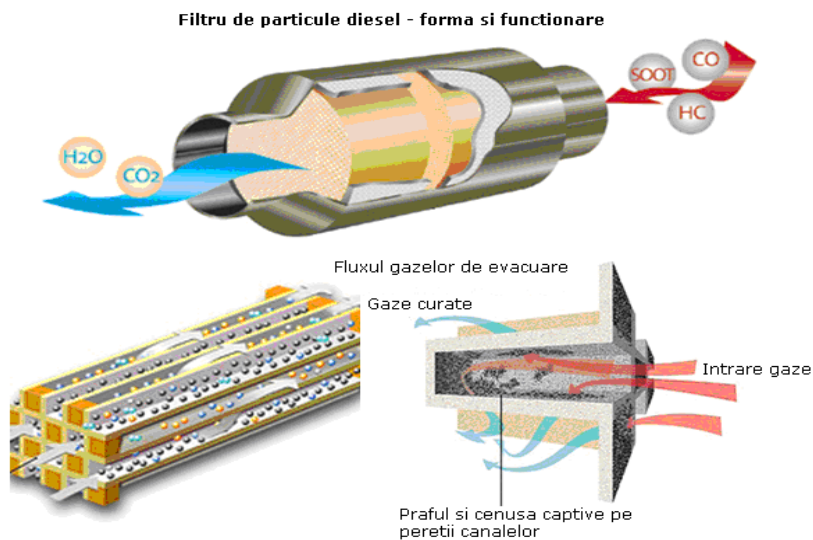


Figura 3.12 . Schema de proiectare a filtrului de particule diesel [118, 119]

În plus, există sisteme de captare regenerabile continuu-CRT (**C**ontinuously-**R**egeneration-**T**rap). Acest sistem asigură o regenerare continuă prin creșterea artificială a temperaturii gazelor de evacuare. Înainte de filtrul real este amenajat un catalizator de oxidare, care oxidează componentele de evacuare HC, CO și NO. Acest lucru are ca rezultat combinarea NO₂ cu carbonul stocat în filtru și la temperaturi mari este ars continuu de CO₂.

4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND POSIBILITATEA REDUCERII EMISIILOR DE NO_x

4.1. Prezentarea generală a standurilor utilizate

Încercările experimentale privind posibilitatea reducerii emisiilor de NO_x s-au realizat pe în două etape pe standuri diferite astfel:

- în prima etapă am efectuat încercări pe un stand specializat de încercări din laboratorul CEEC al facultății tehnice din Regensburg;
- în a doua etapă măsurătorile efectuate au fost pe locomotive diesel hidraulice aflate în exploatarea feroviară din România și anume locomotiva diesel hidraulică de 1250 CP și locomotiva diesel hidraulică de 1360 CP.

4.2. Structura standului specializat pentru încercări din laboratorul CEEC (Combustion Engine and Emission Control)

Pentru efectuarea măsurătorilor, motorul diesel a fost amplasat pe unul din cele 5 standuri active al Universității de Științe Aplicate, laboratorul CEEC.

Avantajele testării pe stand au constat în posibilitatea reproducerii condițiilor reale de circulație: rezistență la rulare, consum de combustibil, temperatură dar și în posibilitatea reproducerii ciclurilor de încercare (NRTC și NRSC).

4.2.1 Motorul diesel

Baza tuturor măsurătorilor îl constituie motorul diesel pentru vehicule nonrutiere (figura 4.1), în acest caz fiind un motor folosit pe buldozere și excavatoare.

Caracteristicile principale ale motorului sunt:

- puterea motorului: 200 kW
- numărul cilindrilor: 4 în linie
- cilindrul: 7 litri
- turație maximă: 1800 – 2000 rot/min
- greutate: 900 kg
- norma de poluare: Stage III A/Tier 3

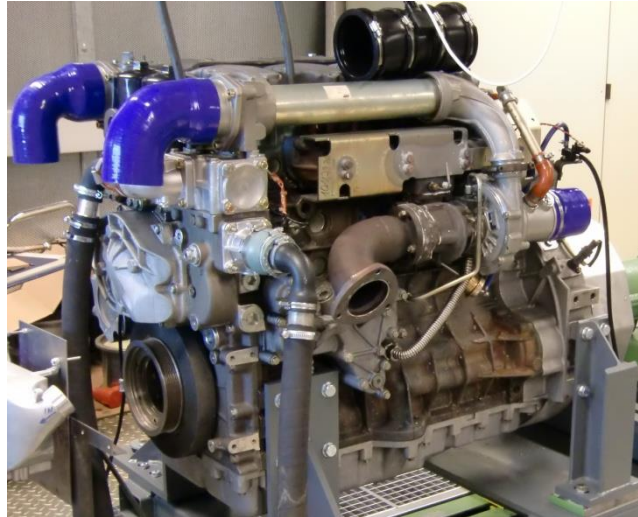


Figura 4.1. Motorul diesel

4.2.2. Dinamometrul tip Schenk

Dinamometrul electric utilizat în teste pentru a obține punctele de operare necesare este un dinamometru furnizat de firma Schenk cu curenți Foucault (figura 4.2) răcit cu apă.



Figura 4.2 Dinamometru Schenk

Dinamometrul are trei componente: sistemul de frânare, cadrul și unitatea de control. Câteva dintre date tehnice ale dinamometrului sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Date caracteristice ale dinamometrului [33]

Mărime	Valoare
Cuplu [Nm]	750
Rotație maximă [1/min]	7500
Putere [kW]	230
Cuplu măsurat [N]	până la 750

4.2.3. Sistemul de evacuare

Având în vedere frecvența de efectuare a testelor propuse într-un timp scurt, sistemul DOC și de asemenea catalizatorul SCR precum și dispozitivul de măsurare a concentrațiilor în puncte încorporate în sistemul de evacuare a fost proiectat astfel încât să faciliteze schimbările ulterioare intervenite în sistem. În acest sens s-a recurs la construcție modulară a sistemului de evacuare, așa cum este prezentată în figura 4.3.

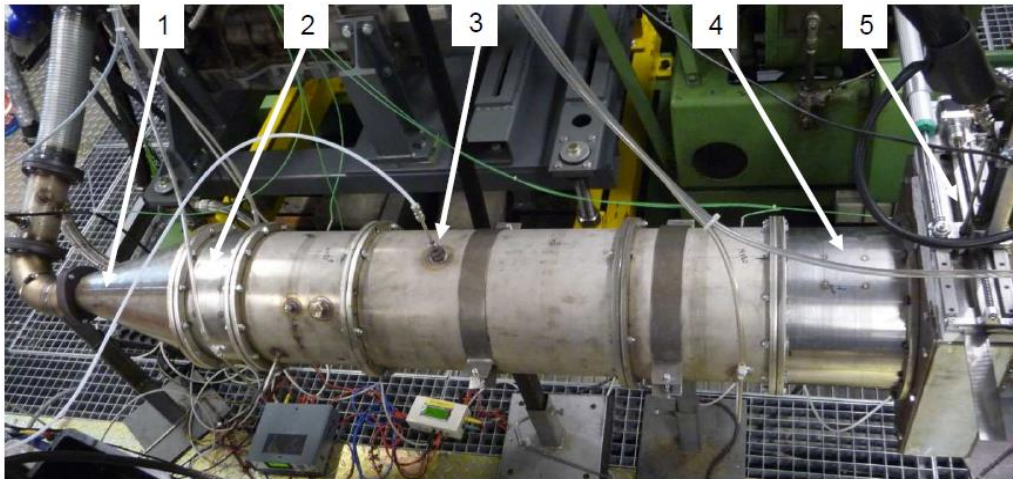


Figura 4.3. Sistemul de evacuare

În Figura 4.3 structura modulară a sistemului de evacuare este identificată numeric. Astfel componentele sistemului de evacuare sunt:

1. difuzor,
2. catalizator DOC,
3. sistemul de injecție de AdBlue sub presiune de aer la 8 bar,

4. catalizator SCR,
5. dispozitiv pentru măsurarea concentrației de noxe în puncte.

4.2.4. Dispozitivul pentru măsurarea concentrației de noxe în puncte

Acest sistem a fost proiectat pentru măsurarea concentrațiilor de noxe în puncte din sistemul de evacuare. În plus acesta permite și efectuarea de ajustări ale sistemului de injecție, rezultatele obținute fiind folosite pentru determinarea coeficientului de uniformitate pe suprafața catalizatorului.

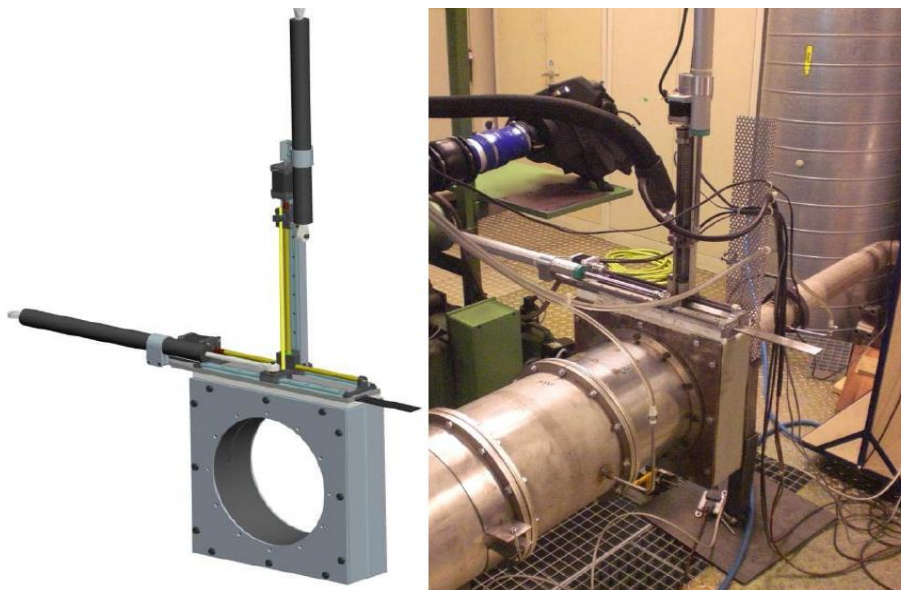


Figura 4.4. Sistemul de măsurare a concentrație de noxe în puncte [88]

Dispozitivul ajută la realizarea de setări optime ale sistemului de injecție de AdBlue pentru a obține rezultate de amestec reductant - gaze de ardere optim pe suprafața catalizatorului SCR și implicit o reducere mai mare a emisiilor. Acesta este prezentat în figura 4.4 în programul CAD (ca formă de proiectare) respectiv dispozitivul realizat și integrat în sistemul de evacuare.

4.2.5. Sistemul de injecție de AdBlue

Pentru injectarea soluției apoase de uree (AdBlue) sub presiune de aer de 8 bar de la sistemul de aer comprimat al laboratorului a fost nevoie de un dispozitiv de injecție care să corespundă cerințelor de dozare, sistemul de injecție ales și folosit fiind un sistem Purem (figura 4.5). Acest sistem este foarte bine adaptat regimului de lucru deoarece sub presiunea de injecție pulverizează fin picăturile și le distribuie uniform pe suprafața catalizatorului SCR. Integrarea sistemului Purem în structura sistemului de evacuare este realizată cu ajutorul următoarelor părți componente principale:

- pompă AdBlue,

- unitate de control a dozajului,
- unitate de control a presiunii,
- unitate de dozare,
- injector.

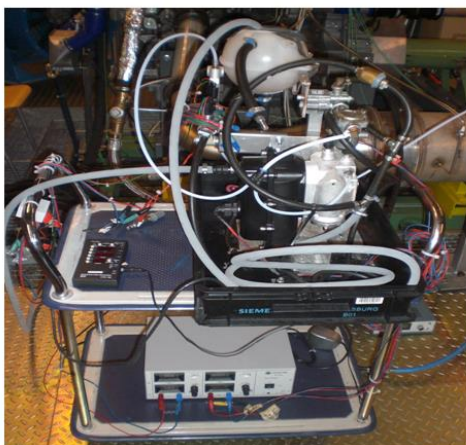


Figura 4.5. Sistemul de injecție AdBlue

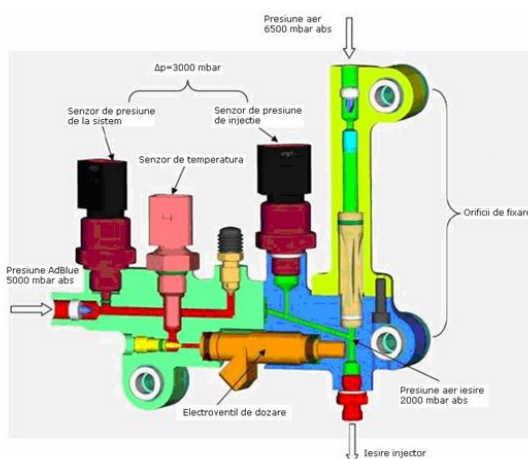


Figura 4.6. Sistemul de dozare a soluției AdBlue [29]

Agentul de reducere este sorbit din rezervor și comprimat de pompa sistemului. Cantitatea de reductant injectat este controlată de ventilul de reglare în interiorul canalului aerului aflat sub presiune constantă asigurată de reductorul de presiune. Pentru sporirea preciziei de injecție au fost montați doi senzori de presiune, prin intermediul cărora se determină diferența de presiune, și un senzor de temperatură prin care se face măsurarea temperaturii reductantului (figura 4.6).

4.2.6. Proiectarea și amplasarea punctelor de măsurare în sistemul de evacuare

Obiectivul principal al proiectării experimentului constă în alegerea amplasamentului punctelor de măsurare respectiv de montare a senzorilor. Astfel pentru experimentele planificate pe standul de încercări s-au montat o serie de senzori necesari pentru măsurători.

În figura 4.7 este prezentată o imagine de ansamblu a amplasării tuturor senzorilor în sistemul de evacuare. Aceștia sunt pentru:

- temperatura de intrare în sistemul de evacuare (T_{EXH_RAW}),
- presiunea statică (p_1),
- concentrația de NO_x la intrare în sistemul de evacuare (NO_{x_RAW}),
- temperatura înaintea catalizatorului DOC (T_{DOC_UP}) și temperatura după catalizatorul DOC (T_{DOC_DOWN}),
- presiunea statică (p_2),
- concentrația emisiilor după catalizatorul DOC (AMA_DOC_DOWN),
- temperatura înaintea catalizatorului SCR (T_{SCR_UP}),
- presiunea statică (p_3),

În plus senzorii amplasați după catalizatorul SCR permit să fie măsurate:

- concentrația de NO_x după catalizatorul SCR ($NO_{x_SCR_DOWN}$),

- concentrația de NH₃ după catalizatorul SCR (NH₃_SCR_DOWN),
- temperatura după catalizatorul SCR (T_SCR_DOWN) și
- presiunea statică (p₄).

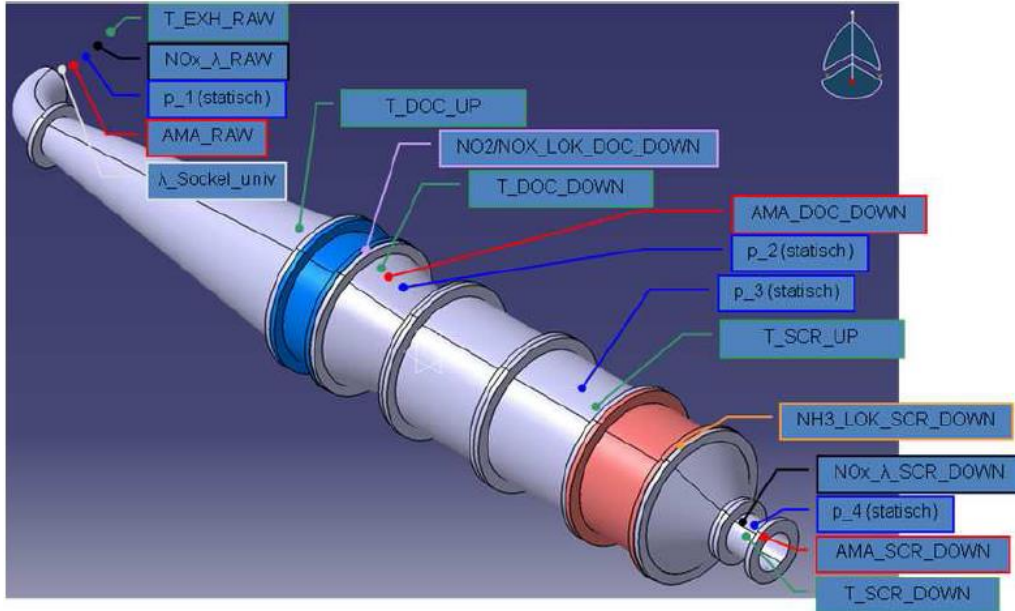


Figura 4.7. Poziționarea diferiților senzori în sistemul de evacuare

4.2.7. Simularea curgerii gazelor în sistemul de evacuare în program AVL FIRE v2009.3

Abordarea cercetării fenomenelor prin experiment poate da unele erori în procesul de culegere a datelor, acestea depinzând de precizia senzorilor.

Pentru confirmarea rezultatelor experimentale am abordat și o modelare teoretică care în plus mai are și scopul de a obține soluții de optimizare a geometriei de curgere a gazelor de evacuare, o distribuție cât mai uniformă a gazelor de evacuare pe suprafața oxidatorului DOC și a amestecului de gaze de ardere cu reductant pe suprafața catalizatorului SCR. Pentru modelare a fost utilizat programul de simulare FOC v2009.3 AVL LIST GmbH.

Pașii parcurși pentru pregătirea modelului se referă la aspecte legate de suportul teoretic după cum urmează:

- pentru a determina uniformitatea gazelor pe suprafața catalizatoarelor s-a determinat coeficientul de uniformitate folosind următoarea formulă de calcul [88]:

$$\gamma = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \|u_i - \bar{u}\| \cdot A_i}{\left\| \sum_{i=1}^n u_i \cdot A_i \right\|} \quad (4.1)$$

unde,

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (4.2)$$

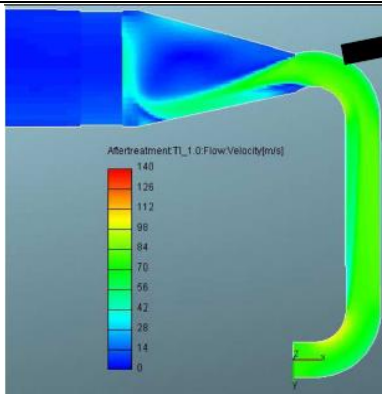
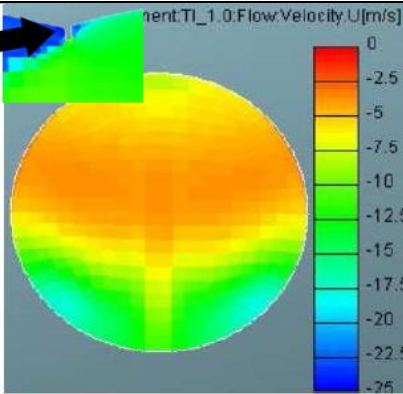
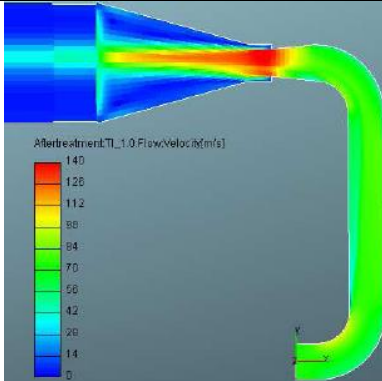
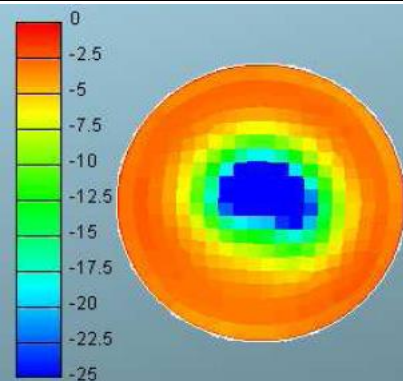
u_i - vectorului de viteză a celulei,

\bar{u} - viteza medie,

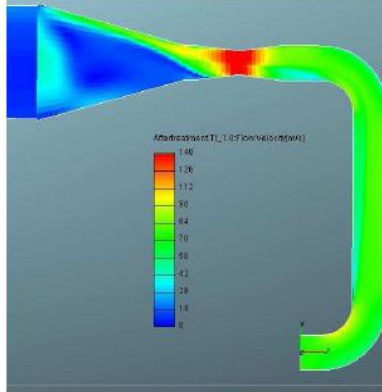
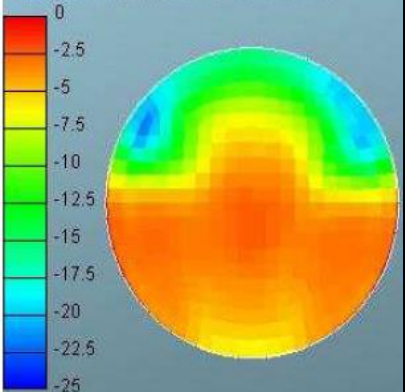
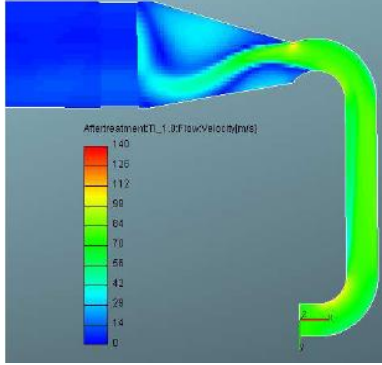
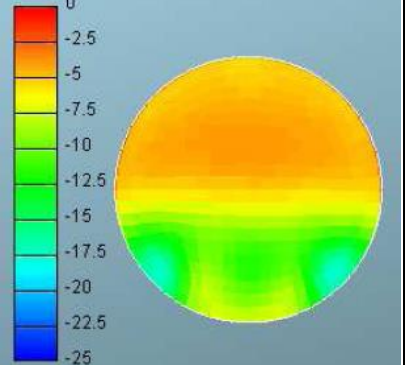
A_i – suprafața celulei.

- realizarea unor simulări aplicate fiecărei configurații propuse. Rezultatele obținute în urma efectuării simulărilor au rezultat următoarele distribuții și coeficienți de uniformitate, prezentați în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Distribuția și coeficientul de uniformitate al gazelor de evacuare pe suprafața DOC și SCR

Varianta	Conexiune eșapare-difuzor	Suprafața DOC	Coeficientul de uniformitate
1. Flux de foaie			DOC: 89 SCR: 98
2. Gâtuire/strângere			DOC: 84 SCR: 88

78 Cercetări experimentale privind posibilitatea reducerii emisiilor de NO_x - 4

Varianta	Conexiune eşapare-difuzor	Suprafaţa DOC	Coeficientul de uniformitate
3. Difuzor			DOC: 86 SCR: 97
4. Exagerare			DOC: 87 SCR: 99

În urma diferitelor simulări efectuate și prezentate în tabelul 4.2, pentru viitoarele teste s-a ales varianta a patra „Exagerare”. Aceasta asigură un coeficient de uniformitate de 87 pe suprafața catalizatorului DOC și 99 pe suprafața catalizatorului SCR. După efectuarea simulărilor s-a adoptat o configurație sistemului de evacuare al gazelor de eşapare a cărei configurație este prezentată în figura 4.8.



Figura 4.8. Configurația sistemului de evacuare înainte catalizatorului DOC

Se remarcă construcția modulară, componentele fiind îmbinate prin flanșe, lucru ce facilitează montarea și/sau demontarea ulterioară a diferitelor componente ale sistemului de evacuare pentru diferite configurații ulterioare sau schimbarea de componente.

4.2.8 Configurarea sistemului de evacuare pe baza rezultatelor modelării

După efectuarea simulărilor pe modelul teoretic s-a reluat experimentul pentru măsurarea emisiilor la ieșirea din catalizator (SCR_Down) cu ajutorul dispozitivului de măsurat concentrația în puncte, pentru fiecare poziționarea injectorului de AdBlue și pentru fiecare dintre cele patru configurații ale sistemului de evacuare. Rezultatele obținute sunt analizate după cum urmează: distribuția concentrațiilor gazelor de evacuarea după catalizator conform configurației nr.1 încercate este prezentată în figura 4.9. La această configurație s-a aplicat injectarea centrală la 90° contra fluxului gazelor de ardere după un constrictor cu deschiderea de 105 [mm], motorul funcționând la 1800 [rot/min] și 400 [Nm] (figura 4.10). În figură se poate observa o concentrație redusă a emisiilor de NO_x până la o valoare minimă de 126 [mg/m³] în mijlocul catalizatorului iar la periferia fluxului concentrația ajunge până la valoarea de 343 [mg/m³]. Acest lucru se datorează faptului că cea mai mare parte din cantitatea de soluție AdBlue injectată de injectorul AdBlue în mijlocul fluxului este antrenată de acesta și purtată de gazele de evacuare către catalizator. Datorita faptului ca în sistemul de evacuare al gazelor nu există nici un dispozitiv de mixare inserat pe fluxul gazelor de evacuare, la periferia fluxului respectiv pe suprafața periferică a catalizatorului ajunge o cantitate mică de substanță reducătoare.

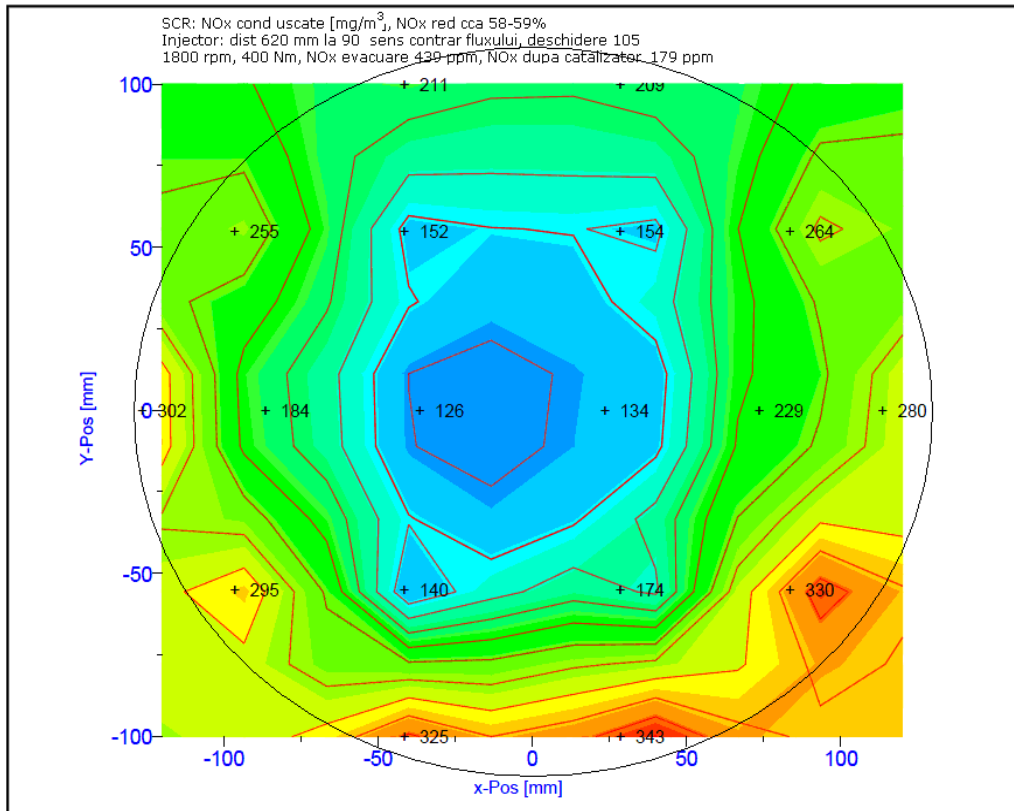


Figura 4.9. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.1

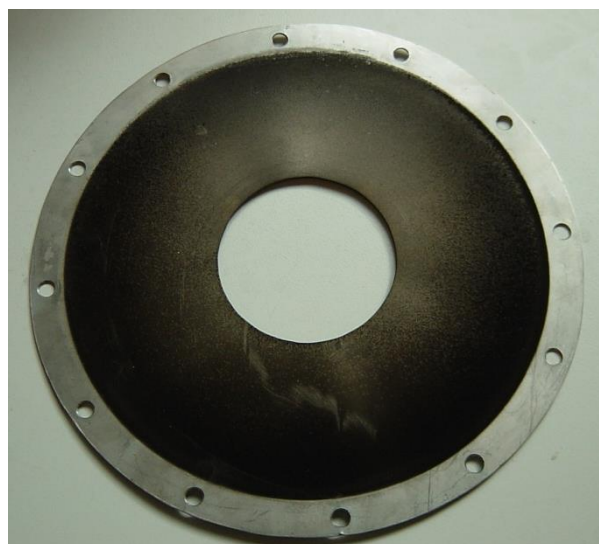


Figura 4.10. Constrictor al gazelor de ardere folosit și amplasat înaintea injectorului de AdBlue

În figura 4.11 este prezentată distribuția concentrațiilor gazelor de evacuare după catalizator conform configurației nr.2 încercate.

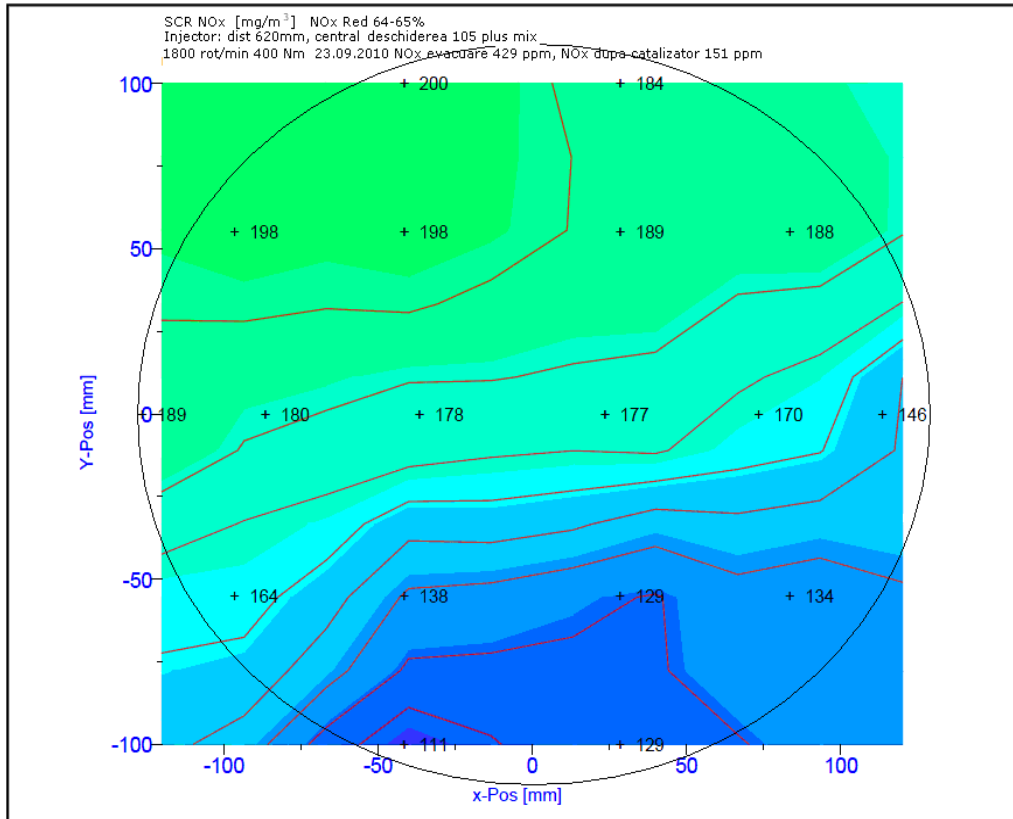


Figura 4.11. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.2

Această configurație asigură injectarea centrală la 90° contra fluxului gazelor de ardere după un constrictor pe care s-au montat palete de mixare (figura 4.12 A) a gazelor de evacuare cu soluția reducătoare de AdBlue (figura 4.12 B) amplasat înaintea injectorului de AdBlue, motorul funcționând la 1800 [rot/min] și 400 [Nm]. Conform figurii se poate observa o concentrație redusă a emisiilor de NO_x până la o valoare minimă de 111 [mg/m³] la baza fluxului iar concentrația maximă ajungând până la valoarea de 320 [mg/m³]. Acest lucru se datorează faptului că paletele de mixare imprimă o mișcare de rotație în sens trigonometric amestecului de gaze de evacuare și soluția reducătoare de AdBlue iar datorită creșterii greutatei specifice al acestui amestec nou format acesta tinde să se așeze pe baza sistemului de evacuare.

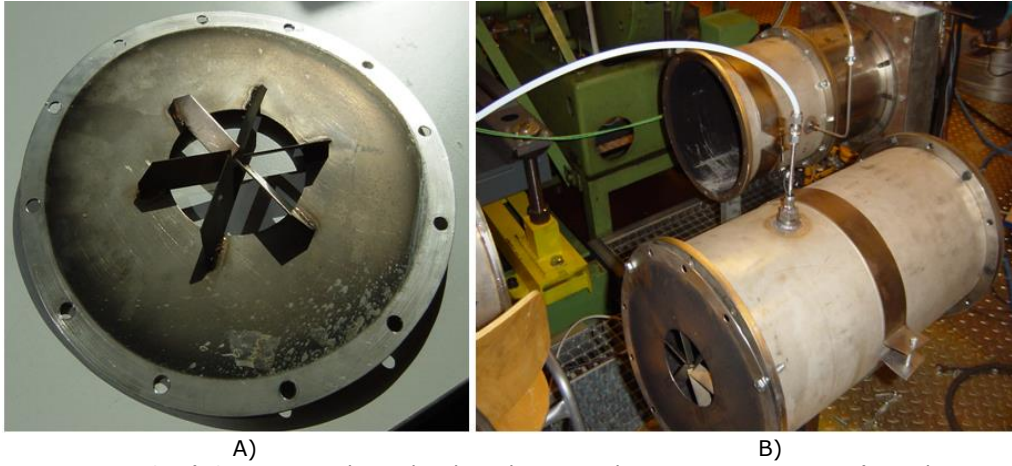


Figura 4.12. A) Constrictor al gazelor de ardere cu palete pentru mixare și B) amplasarea constrictorului cu palete înaintea injectorului de AdBlue

În figura 4.13 este prezentată distribuția concentrațiilor gazelor de evacuare după catalizator conform configurației nr.3 încercate. Pentru această configurație: injectarea se face prin montarea injectorului în plan central și ridicat cu 10 [mm] față de axă, la 90° contra fluxului gazelor de ardere, după un constrictor pe care s-au montat palete de mixare a gazelor de evacuare cu soluția reducătoare. Încercările s-au efectuat cu constrictorul amplasat înaintea injectorului de AdBlue precum și cu un al doilea dispozitiv de mixare montat la 270 [mm] în fața catalizatorului, cu motorul funcționând la 1800 [rot/min] și 400 [Nm]. Din figură se observă concentrațiile emisiilor de NO_x care sunt cuprinse între valoarea minimă de 156 [mg/m^3] pe extremitatea stângă și valoarea maximă de 239 [mg/m^3] ce se regăsește la 15 [mm] dreapta față de centru. Acest aspect al distribuției se datorează faptului că dispozitivele de mixare imprimă o mișcare de rotație diferită pentru amestecul de gaze de evacuare și pentru soluția reducătoare de AdBlue producând un amestec mai omogen. Trebuie remarcat că datorită creșterii greutatei specifice a acestui amestec el tinde să se așeze spre baza sistemului de evacuare. Efectul celui de-al doilea dispozitiv de mixare - postmixerului (figura 4.14), care imprimă o mișcare de rotație orară amestecului, se manifestă printr-o tendință de stocare pe partea stângă a catalizatorului și astfel apar și reduceri mai semnificative ale concentrațiilor emisiilor de NO_x .

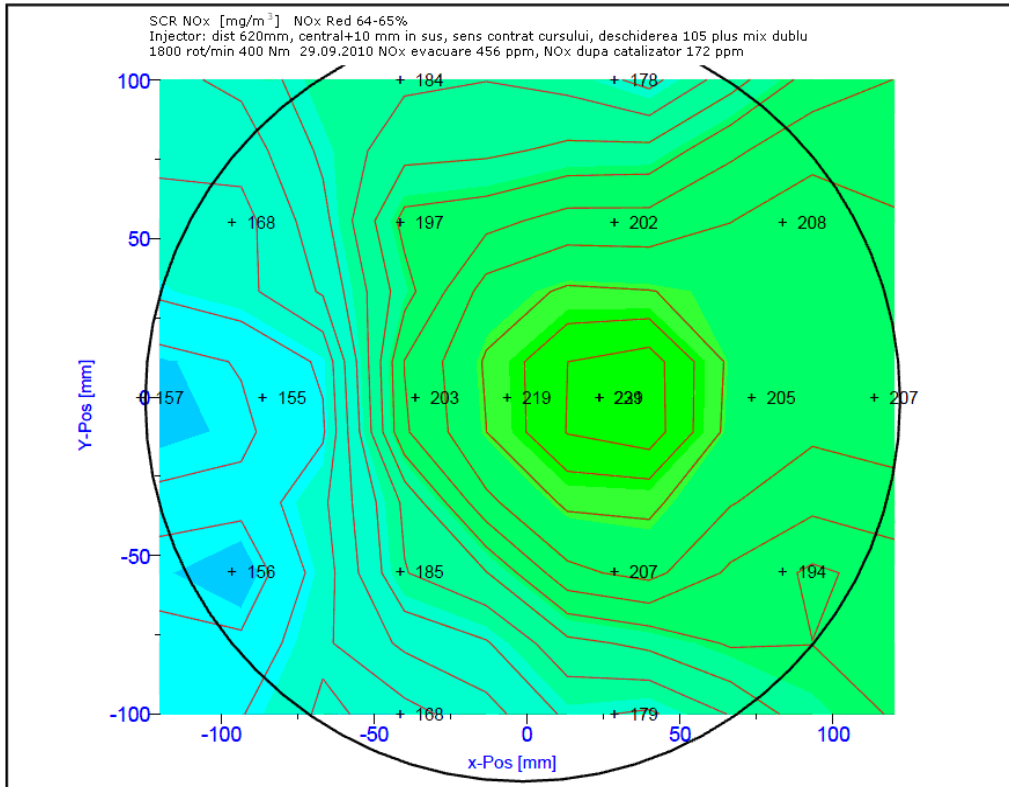


Figura 4.13. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.3

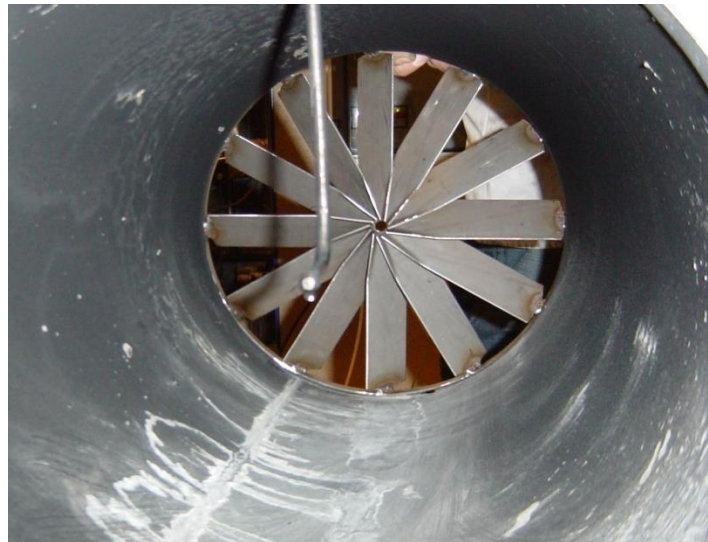


Figura 4.14. Amplasarea injectorului și a post mixerului în sistemul de evacuare

Din figura 4.16 se poate observa distribuția concentrațiilor gazelor de evacuarea după catalizator conform configurației nr.4 încercate. Această configurație este caracterizată prin faptul că injectarea se face central la 90° contra fluxului gazelor de ardere după un constrictor cu deschiderea de 105 [mm] (figura 4.10) amplasat înaintea injectorului AdBlue precum și un al doilea dispozitiv de mixare reconstruit (figura 4.15) montat la 270 [mm] în fața catalizatorului, motorul funcționând la 1800 [rot/min] și 400 [Nm].



Figura 4.15. Post mixer al gazelor de ardere cu soluția de AdBlue

Conform figurii se poate observa concentrații ale emisiilor de NO_x cuprinse între valoarea minimă de 171 [mg/m³] și cea maximă de 216 [mg/m³], diferența dintre cele două valori fiind mică oferind un grad de uniformitate ridicat pe suprafața catalizatorului (figura 4.16), fapt ce a recomandat utilizarea acestei configurații pentru restul testelor.

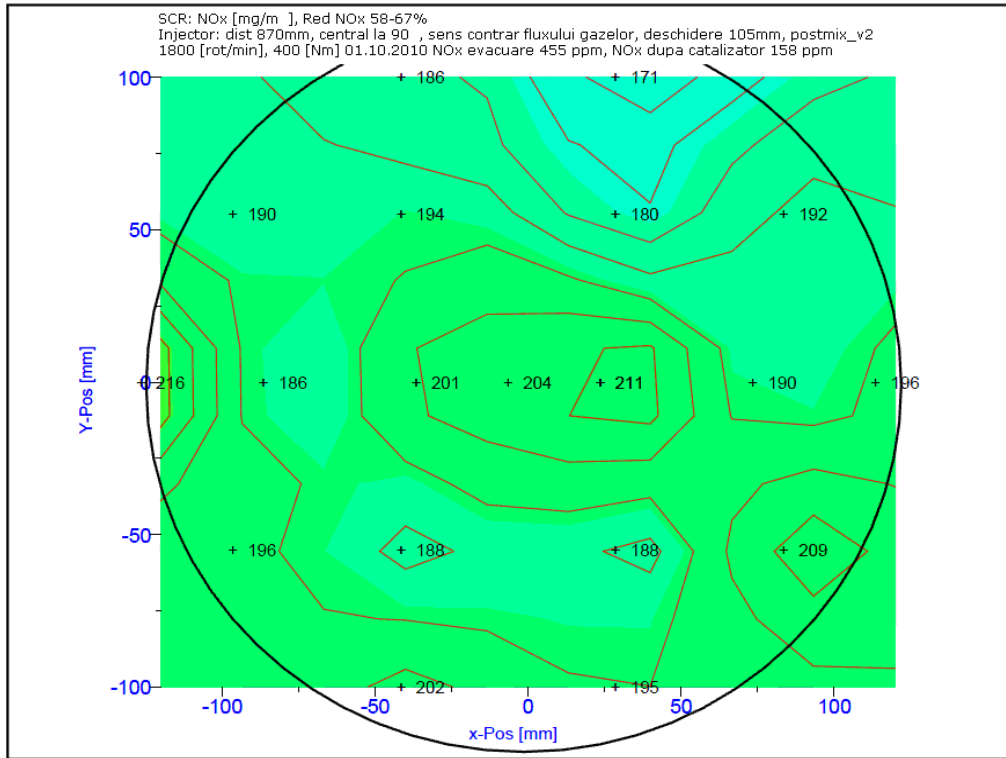


Figura 4.16. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.3

Alegerea acestei configurații este benefică pentru măsurătorile ulterioare datorită utilizării întregii suprafețe utile a catalizatorului dar și pentru creșterea duratei de viață a acestuia, numărul orelor de utilizare crește, catalizatorul nu obosește doar în anumite zone, zone în care își pierde proprietățile reducătoare (îmbătrânirea catalizatorului).

4.3. Locomotive diesel hidraulice aflate în exploatarea feroviară din România

4.3.1. Locomotiva diesel hidraulică LDH 125

Locomotiva diesel hidraulică de 1250 CP (figura 4.17), produs al tehnicii din România, este un mijloc de transport feroviar destinat prestării serviciului de manevră grea dar și remorcării trenurilor de marfă și călători pe liniile secundare.



Figura 4.17. Locomotiva LDH 125: 1- capota mare a locomotivei unde se află motorul diesel 6 LDA 28 B; 2 - capota mică a locomotivei unde se află agregatul de încălzire al trenului remorcat; 3 - cabina mecanicului și ajutorului de mecanic al locomotivei în care se găsesc două pupitre de comandă ale locomotivei; 4 - compresorul locomotivei; 5 - lonjeronul locomotivei care susține partea superioară a locomotivei și care face legătura cu aparatul de rulare; 6 - aparatele de ciocnire și legare ale locomotivei; 7 - rezervorul principal al locomotivei; 8 - aparatul de rulare al locomotivei.

Caracteristicile generale și constructive ale locomotivei diesel hidraulice de 1250 CP (DHC sau LDH 125) sunt prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul.4.3.Caracteristicile locomotivei diesel hidraulice de 1250 CP [34]

Nr. crt.	Denumire caracteristică	Valoare	UM
1	Ecartament	1435	mm
2	Lungimea între tampoane	13700	mm
3	Înălțimea maximă a locomotivei de la coroana șinei	4650	mm
4	Lățimea maximă a locomotivei	3070	mm
5	Raza minimă de înscriere în curbă la: - viteză de 30 km/oră - viteză de 40 km/oră - viteză de 100 km/oră	100 150 550	m m m
6	Diametrul la cerul de rulare al bandajului în stare nouă	1000	mm
7	Greutatea maximă în serviciu	$70 \pm 3\%$	t
8	Sarcina maximă pe osie	$17,5 \pm 3\%$	t
9	Viteza maximă (bandaje semiuzate): - regim ușor - regim greu	100 60	km/oră km/oră

4.3 - Locomotive diesel hidraulice aflate în exploatarea feroviară din România 87

Nr. crt.	Denumire caracteristică	Valoare	UM
10	Viteză minimă de durată: - regim ușor - regim greu - la manevră	20 12 5	km/oră km/oră km/oră
11	Protecție la supraviteză a turbotransmisiei hidraulice (bandaje semiuzate)	110	km/oră
12	Forța de tracțiune maximă la greutatea maximă pentru coeficientul de aderență f_a de 0,33	23000	kgf
13	Capacitatea rezervorului de combustibil	3000	l
14	Capacitatea instalației de răcire	cca 930	l
15	Capacitatea instalației de ungere	cca 360	l
16	Funcționare motorului diesel la solicitarea maximă, cu rezervorul de combustibil complet alimentat	15	ore
17	Tipul motorului diesel (licență Sulzer)	6 LDA 28-B	
18	Tipul turbotransmisiei hidraulice (licență Voith)	TH 2 (L28/III 4-1,45/ST)	
19	Tipul reductorului inversor (licență Voith)	NG 1200/2	
20	Tipul atacurilor de osie (licență Voith)	A 35 SK (dublu), A 35 K (simplu)	
21	Formula osiilor	B_o-B_o	

Principalele componente sunt:

- motorul diesel (figura 4.18);
- turbosufianta VTR 250;
- instalația de răcire a motorului diesel;
- instalația de combustibil.

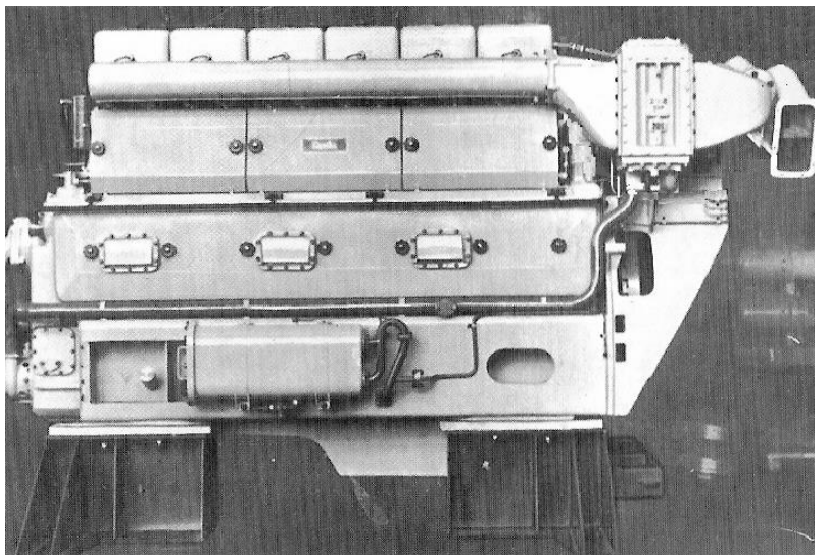


Figura 4.18. Motor diesel tip 6 LDA 28 B [34]

Energia mecanică produsă de motorul diesel este transformată în turbotransmisia hidraulică în energie cinetică, în partea primară, și din nou în energie mecanică, în partea secundară. Elementele utilizate sunt două convertizoare de cuplu de tip Föttinger, turbotransmisia hidraulică fiind considerată, în acest caz, ca o cutie de viteză cu o infinitate de trepte [34].

Transmiterea energiei (puterii) mecanice de la motorul diesel la periferia roții este realizată de agregatele care se găsesc montate în lanțul cinematic prezentat în figura 4.19.

Turbotransmisia hidraulică preia peste 80% din puterea nominală a motorului diesel, restul fiind prevăzut pentru serviciile auxiliare și pierderile de putere. Cuplul de ieșire din turbotransmisia hidraulică este preluat de reductorul inversor de mers, de unde este transmis mai departe, prin axele cardanice, la atacurile de osie, cu sensul și turația corespunzătoare. Reductorul inversor de mers cuprinde o transmisie mecanică cu două trepte (regimuri de mers) și cu inversarea sensului de mers [34].

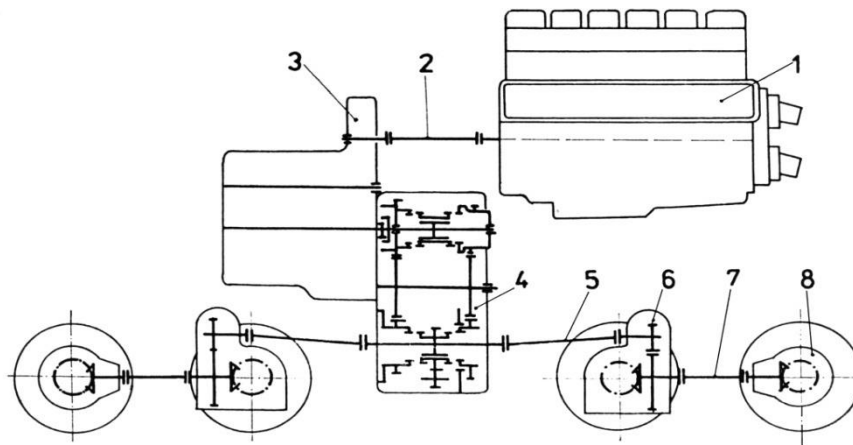


Figura 4.19. Schema cinematică a transmisiei hidraulice pentru LDH 125: 1- motor diesel 6 LDA 28 B; 2 - x de legătură; 3 - turbo transmisia hidraulică tip TH 2, 4 - reductor inversor tip NG 1200/2; 5 - ax cardanic 367/6 1/2 ; 6 - atac dublu de osie A 35 SK; 7 - ax cardanic 367/7; 8 - atac simplu de osie A 35 [34]

Pornirea motorului diesel se face cu un dynastarter de 32 kW (cu un dinam de 24 kW), alimentat cu o tensiune de 96 V, luată de la un set de baterii de acumuloare (8 baterii a 12 V și 320 Ah). Dintre locomotivele diesel hidraulice fabricate în țara noastră, LDH 1250 CP este singurul tip înzestrat cu un agregat pentru încălzirea trenului.

4.3.2. Locomotiva diesel hidraulică de 1360 CP

Locomotiva diesel hidraulică de 1360 CP (figura 4.20) este un mijloc de transport feroviar, produs al tehnicii din România în colaborare cu firme specializate în domeniul motorizării vehiculelor feroviare, în acest caz fiind vorba despre renumita firmă Caterpillar.

Transmiterea energiei (puterii) mecanice de la motorul diesel la obada roții este realizată de agregatele care se găsesc montate în lanțul cinematic (figura 4.21). Energia mecanică produsă de motorul diesel este transformată în turbotransmisia hidraulică în energie cinetică, în partea primară, și din nou în energie mecanică în partea secundară. Cuplul de ieșire din turbotransmisia hidraulică este preluat de reductorul inversor care îl transmite apoi mai departe, prin axele cardanice, la atacurile de osie, având sensul și turațiile corespunzătoare. Locomotiva diesel hidraulică de 1000 kW este destinată prestării serviciului de manevră grea și pentru remorcarea trenurilor de călători.



Figura 4.20. Locomotiva LDH de 1360 CP: 1- capota mare a locomotivei unde se află motorul diesel Caterpillar 3508 B; 2 - capota mică a locomotivei unde se află grupul electrogen de încălzire al trenului remorcat; 3 - cabina mecanicului și ajutorului de mecanic al locomotivei în care se găsesc două pupitre de comandă ale locomotivei; 4 - lonjeronul locomotivei care susține partea superioară a locomotivei și care face legătura cu aparatul de rulare; 5 - aparatele de ciocnire și legare a locomotivei; 6 - rezervorul principal al locomotivei; 7 - aparatul de rulare al locomotivei.

Figura 4.21. Schema cinematică a transmisiei hidraulice pentru LDH 1360 CP: 1- motor diesel Caterpillar 3508 B; 2 - ax de legătură; 3 - turbo transmisia hidraulică tip TH, 4 - reductor inversor tip NG 1200/2; 5 - ax cardanic 367/6 1/2 ; 6 - atac dublu de osie F 35 SP; 7 - ax cardanic 367/7; 8 - atac simplu de osie F 35 P

Reductorul inversor cuprinde o transmisie mecanică cu două trepte (regimuri de mers) și cu inversarea sensului de mers.

Caracteristicile generale și constructive ale locomotivei diesel hidraulice 1360 CP sunt prezentate în tabelul 4.4.

Tab.4.4. Caracteristicile locomotivei diesel hidraulice de 1360CP [6]

Nr. crt.	Denumire caracteristică	Valoare	UM
1	Ecartament	1435	mm
2	Lungimea între tampoane	13736	mm
3	Raza minimă de înscriere în curbă la: - viteza de 30 km/oră - viteza de 40 km/oră - viteza de 100 km/oră	100 150 550	m m m
4	Diametrul la cercul de rulare al bandajului în stare nouă	1000	mm
5	Greutatea maximă în serviciu	70 ± 3%	t
6	Sarcina maximă pe osie	17,5 ± 3%	t
7	Viteza maximă (bandaje semiuzate): - regim ușor - regim greu	100 60	km/oră km/oră
8	Viteză minimă de durată: - regim ușor - regim greu - la manevră	20 12 5	km/oră km/oră km/oră
9	Protecție la supraviteză a turbotransmisiei hidraulice (bandaje semiuzate)	110	km/oră
10	Forța de tracțiune maximă la greutatea maximă pentru coeficientul de aderență f_a de 0,33	23000	kgf
11	Capacitatea rezervorului de combustibil	3000	l
12	Capacitatea instalației de răcire	cca 700	l
13	Capacitatea instalației de ungere	cca 80	l
14	Capacitatea rezervorului de nisip	300	kg
15	Consum specific de combustibil la 100% sarcină	212,65	g/kwh
16	Funcționare motorului diesel la solicitarea maximă, cu rezervorul de combustibil complet alimentat	15	ore
17	Tipul motorului diesel	Caterpillar seria 3508 B	
18	Tipul turbotransmisiei hidraulice	TH 2 (L28/III 4-1,45/ST)	
19	Tipul reductorului inversor	NG 1200/2	
20	Tipul atacurilor de osie (licență "Voith")	F 35 SP (dublu), F 35 P (simplu)	
21	Formula osiilor	B _o -B _o	

4.3.3. Elemente de modernizare aplicate în practica de exploatare feroviara din România

Cerințele actuale de exploatare impun modernizarea locomotivelor diesel hidraulice LDH 1250 CP prin echiparea acestora cu agregate noi la nivelul tehnicii actuale.

Modernizarea constă în efectuarea următoarelor lucrări [6]:

- înlocuirea motorului SULZER 6 LDA 28 B cu motor Caterpillar 3508 B cu performanțe la nivel mondial referitoare la consumuri, noxe și fiabilitate în exploatare;
- modificarea transmisiei hidraulice TH 2 în vederea adaptării la turația noului motor diesel;
- înlocuirea agregatului de încălzit trenul (cu abur-GAT 08), cu un grup electrogen (motor diesel-generator);
- montarea compresorului fără ungere, cu pistoane teflonate, antrenat hidrostatic;
- înlocuirea instalației hidrostatice cu una modernă, livrată de firma BEHR - Germania,
- montarea controlerelor de comandă motor diesel și frână locomotivă și pentru frână tren;
- montarea blocului pentru comanda frânei automate și a blocului pentru comanda frânei directe;
- montarea instalației electrice la 24 V;
- construcția unei cabine noi pe suspensie elastică și capote noi în sistem modular;
- modificarea interiorului cabinei mecanicului, prin reproiectarea posturilor de conducere și a dulapului de automatizare în funcție de noile echipamente;
- montarea ferestrelor laterale tip termopan produse de AEROFINA - București;
- montarea ștergătoarelor de geam acționate electric;
- dotarea cu instalație de climatizare, frigider și scaune ergonomice.

Prin modernizarea acestei locomotive, toate agregatele care erau montate pe pervazul locomotivei și anume aparataj aer, compresor de aer, răcitor de ulei TH2 și lada de scule, au fost amplasate în interiorul capotelor.

4.4. Instrumente și sisteme de monitorizare a emisiilor motoarelor diesel montate pe locomotive

4.4.1. Senzorii de măsurare a temperaturii

Pentru măsurarea temperaturii s-a folosit un termocuplu calibrat. Termocuplul (figura 4.22) se compune din două fire de metale diferite, numite termoelectrozi, sudate la un capăt (1). Capătul sudat (comun) se numește sudură „caldă”. Celelalte capete (2 și 3), numite capete libere ale termocuplului, sau sudura „rece” se leagă prin conductoarele de legătură (c) la instrumentul electric (mV), ce măsoară forța termoelectromotoare generală și proporțională cu diferența de temperatură dintre cele două suduri. Fenomenul se numește Seebeck, după numele celui care l-a descoperit. Temperatura sudurilor reci trebuie menținută la o valoare constantă, de preferat 0 °C. În caz contrar, măsurările sunt puternic distorsionate.

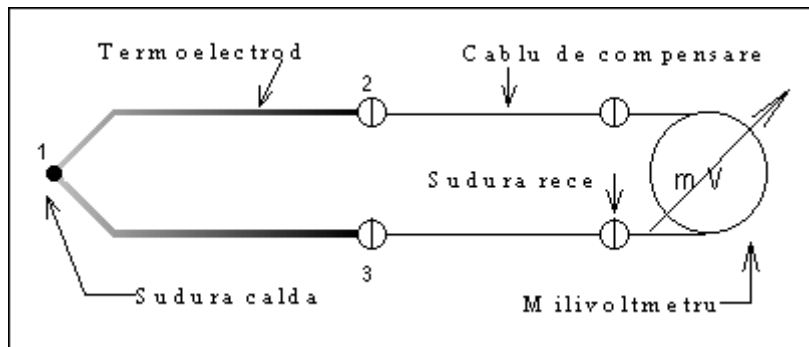


Figura 4.22. Schema termocuplului [83].

Având în vedere că termoelectrozii au o lungime maximă de 200 cm, din care două treimi pătrund în spațiul în care se măsoară temperatura, sudura rece se va găsi întotdeauna în apropierea spațiului ce trebuie monitorizat. Acesta fiind la temperatură ridicată, degajă căldură și creează o temperatură mai ridicată decât a mediului ambiant și variabilă în timp. Din acest motiv, dar și pentru că este incomod să se realizeze sudura rece în imediata apropiere, s-a căutat să se deplaseze sudura rece spre o alta zonă, unde să se poată menține o temperatură constantă. Rezolvarea problemei a constat din prelungirea termoelectrozilor cu alte conductoare de aceeași natură (chiar din același material). În felul acesta, în punctul de contact dintre conductoarele de prelungire și firele termocuplului, nu se formează un termocuplu, deci nu ia naștere forța termoelectromotoare. Aceste fire se numesc cabluri de compensare și sunt complet separate de termocuplu, legătura executându-se la montarea termocuplului. Cablul de compensare are practic rolul de a muta sudura rece într-o zonă cu temperatură constantă. Sudura se formează astfel în zona de legătură dintre cablul de compensare și cablul de legătură.

Termocuplurile se execută din diferite metale sau aliaje. Valoarea tensiunii termoelectromotoare a diferitelor termocupluri depinde atât de materialul din care sunt executați termoelectrozii, cât și de temperatura sudurilor calde și reci. Relația dintre temperatură și forța termoelectromotoare se exprimă printr-o ecuație de gradul al doilea de forma [60]:

$$E = a + bt + ct^2 \quad [\text{mV}] \quad (4.3)$$

unde:

E este forța termoelectromotoare generată, în mV,

t - temperatura sudurii calde, în °C,

a, b și c, trei constantele ale căror valori și unități de măsură se determină prin măsurarea tensiunii termoelectromotoare la temperaturile fixe cunoscute.

Valoarea constantelor a, b și c depinde numai de materialul termoelectrozilor din care este executat termocuplul.

Curbele care reprezintă dependența dintre temperatură și tensiunea termoelectromotoare se numesc curbe de etalonare (figura 4.23). Fiecare tip de termocuplu are o curbă reprezentativă proprie. Pentru a ușura utilizarea acestor curbe ce au valabilitate internațională, se tablează valorile corespunzătoare sau se ridică sub formă de diagrame.

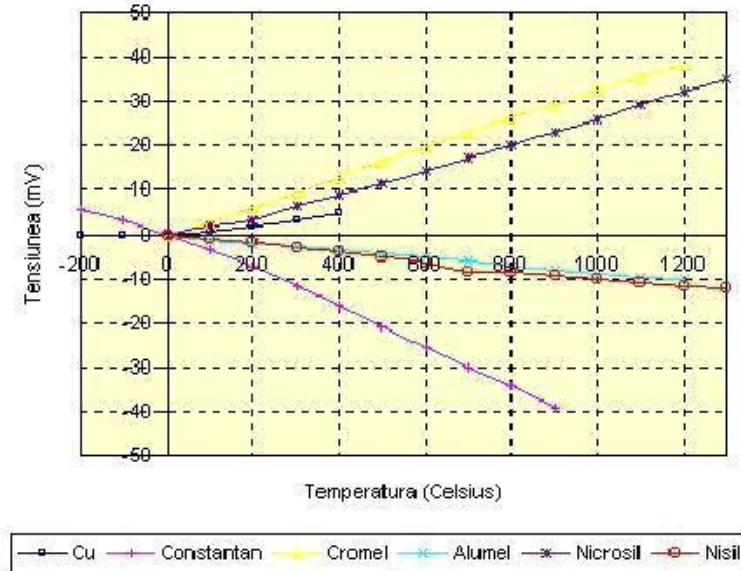


Figura 4.23. Curbele de etalonare a termocuplurilor [83].

Pentru electrozi se utilizează în special metale și aliaje, care, în afară de faptul că satisfac condițiile impuse prin esență principiului termoelectric, dezvoltă, tensiuni termoelectromotoare relativ mari. Se pot utiliza metale sau aliaje care îndeplinesc următoarele condiții:

- au o compoziție omogenă și constantă,
- dezvoltă o tensiune termoelectromotoare stabilă și constantă, chiar la diferențe mici de temperaturi,
- prezintă o curba a tensiunii termoelectromotoare în funcție de temperatură
- liniară,
- posedă o bună conductivitate electrică;
- nu prezintă variații semnificative ale proprietăților electrice în urma oxidării,
- sunt accesibile ca raport preț calitate,
- sunt sensibile, și își mențin proprietățile în timp.

Cele mai bune termocupluri s-au realizat experimental. S-au studiat proprietățile electrice ale diferitelor combinații de metale sau aliaje și s-au selecționat acelea care au satisfăcut cel mai mult condițiile impuse. Trebuie ridicată experimental curba de tensiune electromotoare, în curbe funcție de temperatură. În continuare, sunt prezentate cele mai răspândite materiale, care se întrebuițează la executarea conductoarelor pentru termocupluri, așa cum sunt prezentate în literatura de specialitate [73, 116].

Platina. Datorită calităților chimice și electrice, platina (Pt) împreună cu aliajele de platină cu rodiu PtRh (10 % Rh) constituie termocuplul tip S, de mare precizie. Platina, având o mare stabilitate chimică și o temperatură de topire ridicată (1769 °C), se întrebuițează la măsurarea temperaturilor înalte. Termocuplul platină-platină rodiu măsoară temperaturi între 0 și 1600 °C. În practică se folosește

și perechea platină cu platină-iridiu (10 % Ir). Trebuie evitat contactul dintre platină și carbon, hidrogen sau vapori de metale, care este dăunător termocuplului. În mod special trebuie evitată utilizarea platinei în atmosfera oxidantă sau reducătoare.

Constantanul este un aliaj care conține 40 % Ni și 60 % Cu. Constantanul se poate obține destul de ușor și are proprietăți electrice suficient de stabile. El se întrebuițează în combinație cu fierul pur pentru termocuplul fier-constantan. Este recomandat pentru temperaturi de la - 200 °C până la 900 °C. În combinație cu cuprul pur se realizează termocuplul „cupru-constantan”, care e utilizat pentru temperaturi de la - 200 °C până la 600 °C. Termocuplurile rezultate dintr-o astfel de combinație pentru materialele electrozilor se numesc termocupluri tip J.

Cromelul este un aliaj având compoziția 89,0 % Ni, 9,8 % Cr, 1,0 % Fe și 0,2 % Mn. Se utilizează în combinație cu alumelul (94 % Ni, 0,5 % Fe, 2 % Al, 2,5 % Mn și 1 % Si) formând un termocuplu activ pentru domeniul de la 0 °C la 1200 °C. Acest termocuplu este foarte des folosit și cunoscut sub denumirea uzuală de termocuplu tip K.

Copelul (45 % Ni, 55 % Cu) împreună cu cromelul realizează un termocuplu tip L, care se folosește la măsurarea temperaturii între 0 și 900 °C. Termocuplul cromel-copel are avantajul că dezvoltă o forță electromotoare mare, ceea ce este o caracteristică valoroasă.

Nichelul este unul dintre cele mai vechi metale utilizate în construcția termocuplului, mai ales în combinație cu nichel-crom (84,6 % Ni, 12,4 % Cr, 3 % Fe) sau cu grafit (cărbune). Aceste termocupluri măsoară temperaturi în domeniul 0 - 1200 °C. Nichelul are avantajul că se poate obține sub formă de fire foarte omogene, are același domeniu de măsurare cu termocuplurile cromel - alumel, denumirea clasică fiind identică - termocuplu tip K.

Nicrosil este un aliaj format din 84 % Ni, 14,2 % Cr, 1,4 % Si și este folosit ca electrod pozitiv la termocuplurile moderne, în combinație cu nisolul (95 % Ni, 4,3 % Si), care formează electrodul negativ în termocuplul de tip N.

Cu cât precizia de măsurare a termocuplurilor crește, cu atât prețul de cost crește. Alegerea termocuplului pentru standul de probă s-a făcut în funcție de valoarea temperaturii gazelor de evacuare din motorul diesel. Valoarea temperaturilor pe standul de probă a fost măsurată după sistemul turbo (figura 4.24) al motorului diesel în zona în care gazele de evacuare pot atinge temperaturi de peste 600 °C.

Pentru a măsura temperatura în acest punct critic s-a ales cel mai adecvat termocuplu de tip Cromel Alumel și anume termocuplu tip K. Numărul necesar al termocuplurilor pentru monitorizarea temperaturilor reprezentative de pe standul de încercări este de unu.

Furnizorul termocuplului a livrat termocuplul de tipul K utilizat împreună cu cablu de compensare de tip K din Teflon termorezistent, a cărui document de referință este S.F. nr. 1/1996; SR-EN 603351/1999; S.F. nr. 4/1999. Curba de etalonare acoperind plajele necesare de temperaturi avantajul acestui termocuplu fiind faptul că plaja de măsură este cuprins în intervalul 0-900 °C.

Termocuplul care măsoară temperatura gazelor de evacuare (figura 4.25) are un sistem de ecranare pe toată lungimea de 2000 mm (Lc) prelungitoare a termoelectrozilor. Ecranarea reduce foarte mult perturbațiile provenite din mediul înconjurător sau din proces. Diametrul elementului sensibil de $\varnothing_g = 6$ mm și lungimea de $L_g = 10$ mm permite măsurarea temperaturilor gazelor de evacuare în zona cu vârf de presiune din traseului de evacuare a gazelor.

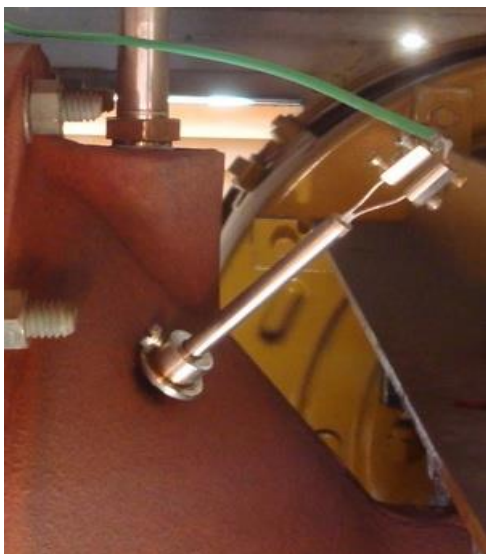


Figura 4.24. Punctul de măsurare a temperaturii



Figura 4.25. Termocuplul pentru măsurarea temperaturii gazelor de evacuare

4.4.2. Sistemul de achiziție de date

Sistemul de achiziție de date are drept scop achiziționarea și sistematizarea datelor experimentale. El a fost special conceput și realizat pentru a cerceta emisia gazelor de ardere de la motorul diesel ce echipază locomotivele aflate în exploatare.

Se compune din:

- convertorul analogic digital Pixsys ATR 243 ABC,
- placa de achiziție de date,
- programul de achiziție de date.

4.4.2.1. Convertorul analogic digital Pixsys ATR 243 ABC

Convertorul analogic digital este componenta electronică menită uniformizării, filtrării și amplificării semnalului transmis de la termocuple (semnal tensiune în mV). Datele obținute pe cale experimentală se transmit apoi către placa de achiziție.

Convertorul Pixsys ATR 243 ABC folosit este un microcontroler, capabil să monitorizeze, memoreze și să conducă un proces, reducând astfel costurile legate cu achiziția unor aparate speciale. Tensiunea de alimentare a convertorului acoperă o plajă între 24 și 265 V (curent alternativ/curent continuu). La acest model de convertor se pot conecta 18 tipuri de senzori, semnalul fiind transmis către placa de achiziție, ca și comandă SSR (releu cu semiconductori), pe intervalul 4 - 20 mA sau 0 - 10 V. S-a ales acest tip de convertor și funcție de caracteristicile ce le oferă :

1. Facilitatea de a putea memora valorile citite cu ajutorul unui card pe o durată mai mare de timp;
2. Descărcarea directă a datelor din convertor în calculator, prin intermediul portului serial RS-232 Modbus RTU [7].

Tabelul 4.5 Caracteristici generale ale convertorului analogic-digital tip Pixsys ATR 243 ABC [7].

Caracteristici	
Afișare	0.40 inch display
Mediu de funcționare	0-45°C, umiditate relativă 35..95%
Protecție	IP65 panou frontal (cu garnituri) IP20 înveliș și terminale
Material	PC ABS UL94VO
Greutate	165 g (-20ABC) /185 g (-21/31 ABC)

Caracteristicile generale ale dispozitivului sunt evidențiate în tabelul 4.5. Construcția este compactă și ușor de montat într-un ansamblu. Prezintă un ecran de vizualizare a valorii temperaturilor de 0,4 ". Poate funcționa pe intervalul de temperatură de 0-45 °C. Există de asemenea o protecție împotriva electrocutării la carcasă și la terminale. Materialul plastic, rezistent la șocuri, din care este executat convertorul, îi conferă robustețe. Tabelul 4.6 indică caracteristicile sistemului hardware, fiind evidențiate posibilitățile oferite și capabile de a fi integrat în monitorizarea proceselor [135]. Caracteristicile hardware ale convertorului permit achiziția datelor de la termocuplu, cu o acuratețe mare.

Tabelul 4.6. Caracteristicile hardware ale convertorului analogic-digital tip Pixsys ATR 234 ABC [7].

Funcție	Senzori	Caracteristici	Observații
Intrare analogică	Termocupluri: K, S, R, J	Compensare automată a joncțiunii de la 0°C ..50°C (precizie 0.1 °C/°C)	Precizie (la 25°C) , 0.2 % ± 1 digit. Un convertor are posibilitatea de a măsura o singură intrare.
	Termorezistență: PT100, PT500, PT1000, Ni 100, PTC1K, NTC10K (β 3435K)		
	Semnal linear: 0-10V, 0-20V sau 4-20 mA, 0+40 mA, transformator ampermetric 50 mA,		
	Potențiometre: 6K, 150 K		
Ieșire rele	3 rele de comandă sau alarmă	Configurabile din soft, contacte 5A - 250V	
Ieșire SSR	4 - 20 mA	Configurabile din soft cu 4000 de puncte	
	0 - 40 mA		

Modul de programare și de lucru sunt specifice și destul de dificile. De aceea, se insistă în continuare asupra unor detalii, care au fost parcurse și verificate de-a lungul cercetării.

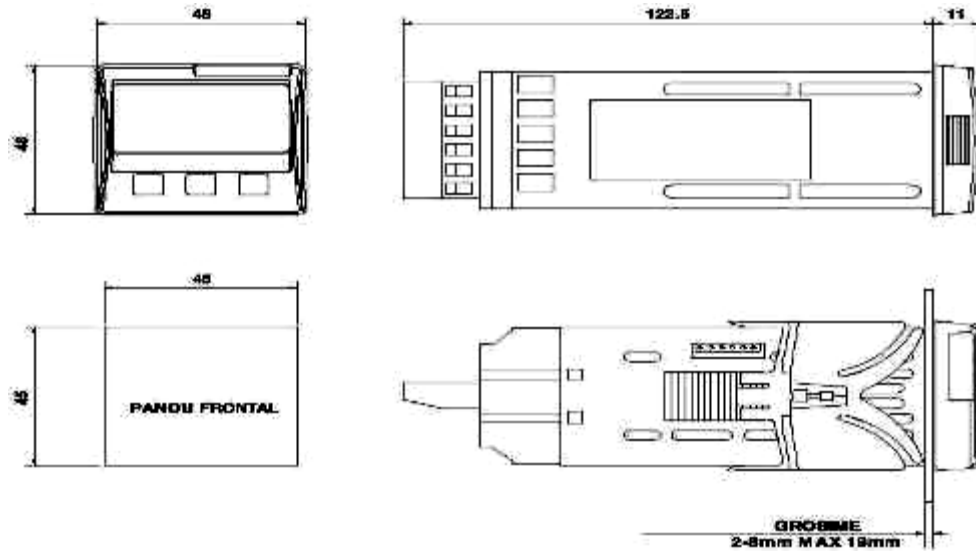


Figura 4.26. Dimensiuni caracteristice ale convertorului [7].

Din figura 4.26 se constată că tipul de convertor Pixsys ATR 243 prezintă o construcție compactă, are dimensiuni mici și astfel se reduce semnificativ gabaritul întregului ansamblu. Dimensiunile caracteristice ale convertorului oferă multitudinea de posibilități x de încadrare pe diferite panouri (figura 4.26).

Pentru a putea programa convertorul, inițial se realizează legăturile aferente alimentării cu energie electrică pentru senzorul și ieșirile analogice către placa de achiziție, conform diagramei pinilor, impuse de producător (figura 4.27).

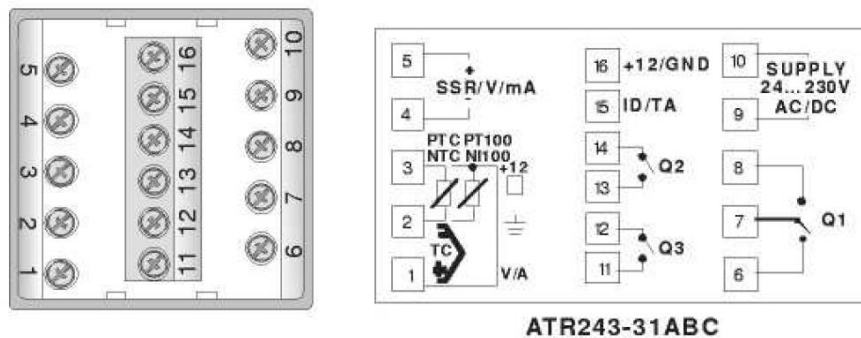


Figura 4.27. Diagrama cu schema pinilor convertorului analogic-digital tip Pixsys ATR 243 ABC [7].

În cazul proiectat, alimentarea convertorului se realizează prin conectarea mufei tensiunii la pinii 9 și 10. Tensiunea de alimentare poate să fie 220 V la 50 Hz sau tensiune stabilizată la 24 Volți. Conform indicațiilor producătorului, pentru a obține valori cât mai stabile, alimentarea convertoarelor a fost realizată de la o

sursă de tensiune stabilizată de 24 V c.c. Termocuplul se conectează la polaritatea corectă (concret pinii 1 și 2).

Din această fază, s-a început programarea efectivă a convertorului, direct cu ajutorul tastelor sale funcționale. Se procedează și la inițializarea prin apăsarea butonului SET, timp de cinci secunde.

Se introduce apoi un cod de continuare (setat din fabricație). Primul parametru care trebuie programat este senzorul. Cu ajutorul tastelor funcționale, urmărind procedura din manualul producătorului, se programează parametrul numărul doi, adică se introduce specificația corespunzătoare termocuplului tip K.

În cazul particular parcurs s-a procedat la setarea parametrului 66, pentru a afișa valorile măsurate în grade Celsius. Tot prin soft se activează și modul de transmitere a datelor către placa de achiziție în plaja (0-10 V). Această validare (aferență parametrului 67), se realizează prin mutarea jumperului trei pe placa de circuite a convertorului.

Alți parametri care necesită atenție sunt corespunzători parametrilor 68 și 69, pentru că pot influența măsurătorile, dacă nu sunt programați corespunzător. Parametrul 68 reprezintă limita inferioară a domeniului de măsurare a temperaturii, care se programează în funcție de domeniul specific fiecărui termocuplu (în cazul de față „0” pentru toate termocuplele). Parametrul 69 este limita superioară a domeniului de măsurare a temperaturii, specifică pentru termocuplele din gaze. Limita este 700 °C, pentru cazul gazelor.



Figura 4.28. Exemplu de vizualizare a temperaturilor cu convertorul Pixsys ATR 243 ABC.

Toți acești parametri au fost reglați pentru convertorul folosit, necesar termocuplului. Astfel s-a reușit ca pentru standul de probe să se vizualizeze valorile temperaturii gazelor de evacuare în punctul stabilit și totodată să se transmită către placa de achiziție toate valorile acestora, valoare echivalată în volți, în plaja 0-10 V

(figura 4.28). Pentru vizualizarea temperaturilor în grade C s-a mai determinat și implementat și un factor de conversie.

4.4.2.2. Programul de achiziție de date

Programul de achiziție de date, conceput în legătură cu placa de achiziție NI – PCI 6224, a fost proiectat și realizat pe platforma de programare Labview versiunea 8.5, concepută de către National Instruments. Spre deosebire de alte medii de programare, acesta nu are linii de comandă, folosește o interfață grafică, în care în funcție de scopul urmărit, se alege un instrument virtual (VI instrument). Pentru cercetările întreprinse pe locomotiva diesel hidraulică LDH 125 modernizată, programul s-a creat special pentru măsurarea temperaturilor, având la bază o logică verificată și în alte aplicații [76, 77, 83, 96, 97].

Programul de achiziție de date are două interfețe grafice:

1. MENIUL PRINCIPAL,
2. MENIUL PENTRU MONITORIZARE.

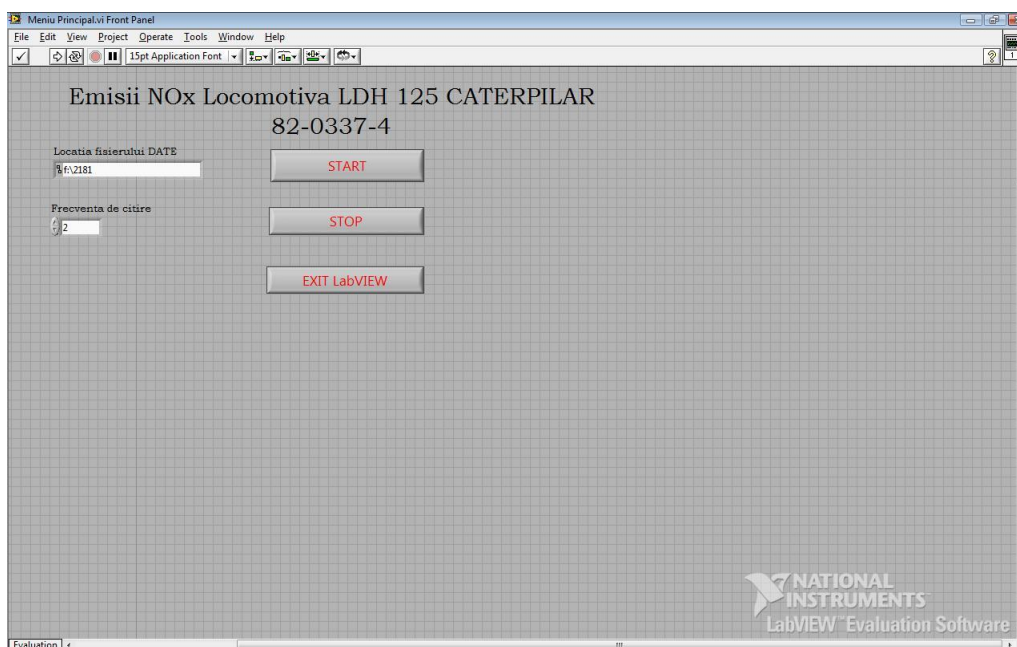


Figura 4.29. Meniul principal.

Interfața „MENIUL PRINCIPAL” (figura 4.29) se deschide împreună cu pornirea programului din Windows (iconița CHP_Diesel). Programul nu se inițializează de la sine, deoarece în mediul de programare Labview, pentru pornirea unei aplicații, este necesară, acționarea specială prin săgeata albă, localizată sub meniul de „Edit”, din bara de funcții. După activare, săgeata albă își schimbă culoarea în negru, iar programul rulează instrucțiunile de lucru specifice.

Acest fapt este evidențiat și prin dispariția caroiajului din fundalul interfeței (figura 4.28). Interfața de meniu principal ilustrată (figura 4.30 și 4.31) prezintă două câmpuri care trebuiesc completate, Programul rulează în funcție de necesități prin acționarea a șase butoane de comandă.

Locația fișierului DATE este situată în primul câmp, care se completează de către operator și în care se indică unde vor fi salvate datele măsurate. Alegerea locației de salvare a datelor este aleatorie, fără nici o restricție, având aceeași comandă de linie ca cea de Windows. De exemplu, poate fi „F:\9611.txt”. Operatorul trebuie să introducă obligatoriu în acest câmp numele fișierului, urmat de extensia „txt”. Acest tip de fișier s-a ales pentru că este un format universal, ce poate fi citit de către orice calculator, având sistemul de operare Windows. De asemenea, așezarea datelor în fișierul text a fost concepută pentru a fi compatibilă și cu aplicația pachetului Office, Microsoft Excel, unde se vor prelucra datele.

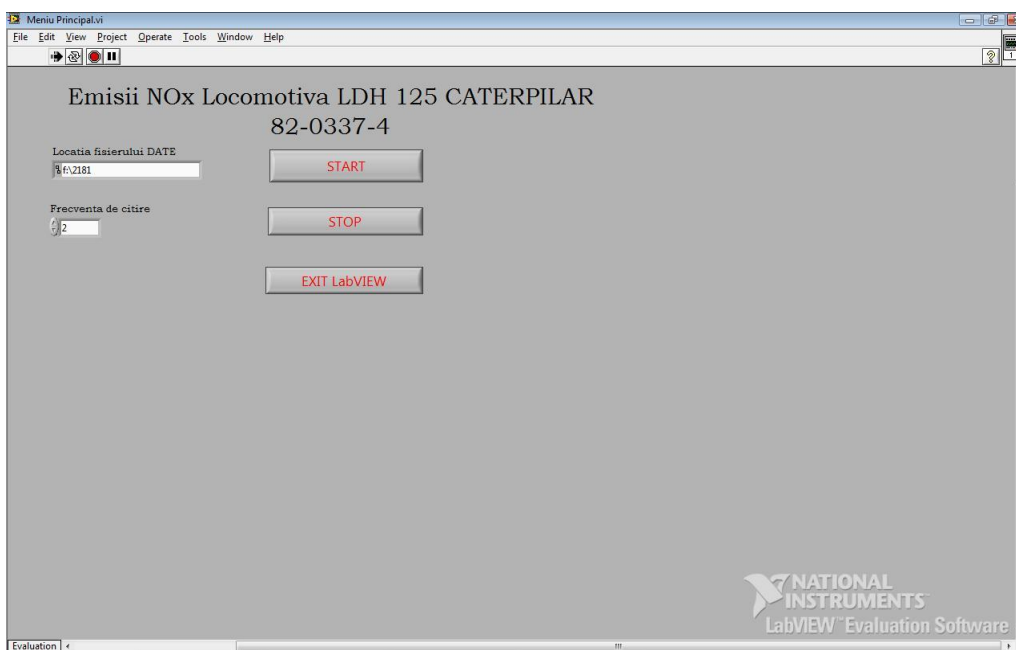


Figura 4.30. Screenshot privind meniul principal în cazul în care programul este activ.

În câmpul următor denumit, „Nr. de secunde după care se salvează datele operatorul”, se introduce o cifră care reprezintă valoarea în secunde, astfel se creează condițiile ca programul să medieze rezultatele și să le afișeze în fișierul final. Spre exemplu dacă operatorul introduce în acest câmp numărul 15 (exemplu din figura 4.30), timp de 15 secunde programul citește toate canalele legate la senzori, după care va face media citirilor pe timp de 15 secunde, pe fiecare canal în parte și le va afișa în fișierul final.

Monitorizarea temperaturilor se face prin acționarea butonului START al programului. După apăsarea butonului START se va deschide o nouă fereastră (MONITORIZARE: temperatură, emisii de NO_x și coeficientul excesului de aer λ - figura 4.31). În momentul în care butonul „IEȘIRE PROGRAM – IEȘIRE” este acționat, programul va închide complet fereastra. Dacă însă se acționează butonul de „Oprire program – STOP”, programul se va opri, în fundal reapărând caroiul pe interfață. Interfața este prevăzută să afișeze valorile corespunzătoare pentru șase grafice.

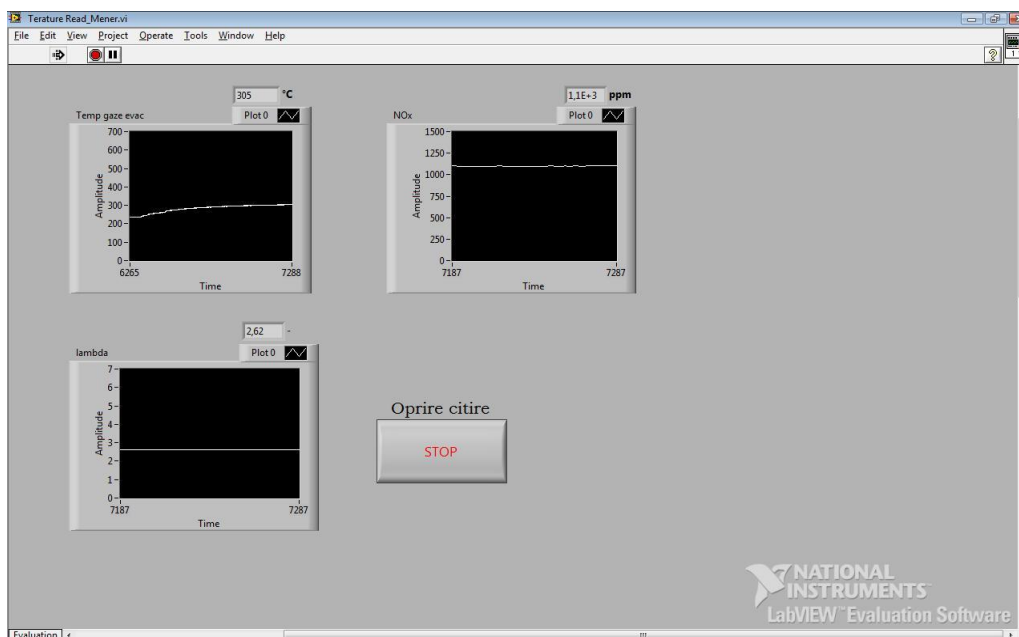


Figura 4.31. Interfața „Monitorizare”.

Interfața de monitorizare a temperaturii este prevăzută la rândul ei cu un buton de „Oprire citiri – STOP”, care are funcția de a opri citirea și de salvare a datelor. Programul trece astfel în interfața de meniu principal. Pentru a salva datele în fișierul creat se acționează fie butonul „STOP”, fie butonul „IEȘIRE”. Ca urmare, datele experimentelor sunt salvate în fișierul denumit de către operator și se prezintă ca în figura 4.32.

	A	B	C	D
1	Time	Gazeevac[°C]	NOx[ppm]	Lambda[-]
2	16:28:40	308,941	1,170,903	2,147
3	16:28:42	310,132	1,161,612	2,151
4	16:28:44	311,347	1,161,768	2,155
5	16:28:46	312,324	1,165,823	2,158
6	16:28:48	304,535	1,063,302	2,682
7	16:28:50	286,614	610,787	4,299
8	16:28:52	283,302	799,737	3,695
9	16:28:54	284,829	950,239	3,000
10	16:28:57	292,919	1,117,871	2,383
11	16:28:59	299,774	1,164,109	2,248
12	16:29:01	304,449	1,164,631	2,212
13	16:29:03	307,810	1,162,630	2,198

Figura 4.32. Fișierul final forma de prezentare a datelor.

Valorile indicate în figura 4.32 sunt valori preliminare indicate orientative, pentru a vizualiza forma fișierului.

Programul are două interfețe de utilizator. Acestea le corespund două programe Labview, în consecință s-au conceput două scheme logice. În figura 4.33 sub formă de schemă logică este prezentată interfața de meniu principal. Meniul principal începe să ruleze doar după acționarea cursorului din meniul Labview. Programul creează variabilele globale „Numele și calea fișierului” și „Nr. secunde după care se salvează datele”. În continuare programul verifică condițiile din lista de verificări, pe care operatorul trebuie să o parcurgă și să le îndeplinească înainte ca să pornească motorul. Dacă sunt toate condițiile îndeplinite se apasă butonul „START” și programul deschide automat cea de-a doua fereastră Labview de monitorizare a emisiilor și temperaturii gazelor de eșapare (figura 4.31). În caz contrar vizualizarea temperaturii și emisiilor nu este posibilă. Apăsarea butonului „STOP” oprește programul. Acționarea butonului de pornire se realizează obligatoriu prin apăsarea cursorului alb din bara de funcții Labview, sub meniul „Edit”. Dacă s-ar apăsa butonul „IEȘIRE PROGRAM”, programul ar părăsi mediul de programare Labview. Este recomandat ca după ce măsurătorile au fost terminate să se acționeze butonul „STOP”.

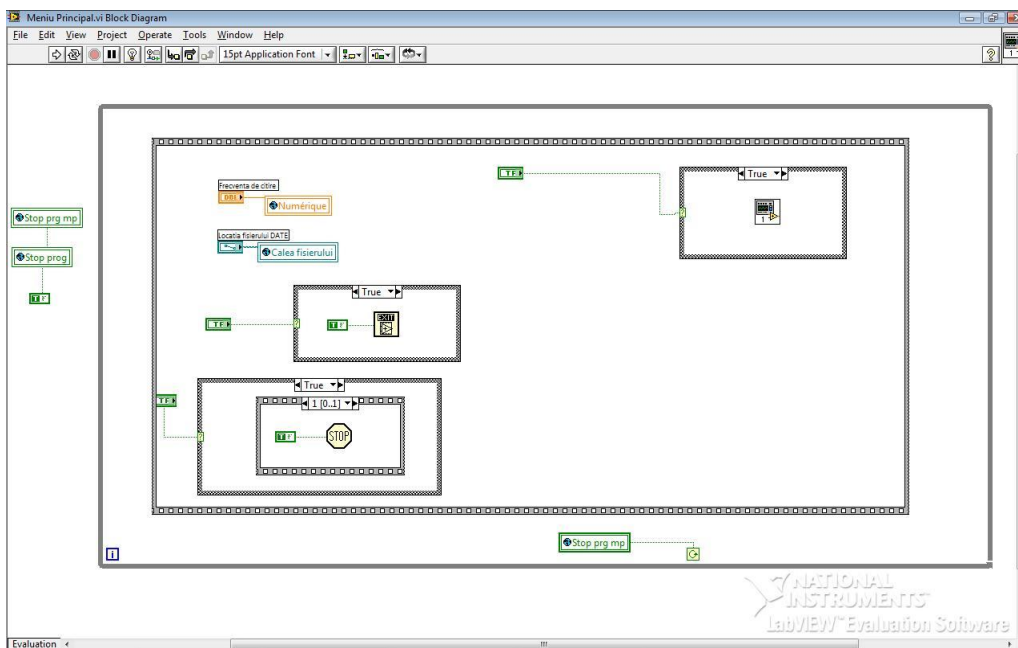


Figura 4.33. Programul în Labview al interfeței „Meniu Principal”.

Figura 4.33 ilustrează programul mediului labview al interfeței de meniu principal, așa cum a fost el proiectat. Se observă că modul de programare folosește instrumentele virtuale interactive, legate între ele.

4.4.3. Descrierea analizorului de gaze tip TESTO 350 M/XL

Pentru măsurarea concentrațiilor emisiilor poluante rezultate din procesul de ardere din motoarele cu ardere prin comprimare (m.a.c.) al locomotivelor diesel hidraulice aflate în exploatare, s-a folosit analizorul de gaze tip TESTO 350 M/XL. Se

analizează gaze uscate și răcite. Speciile pe care analizorul le poate măsura sunt: SO_2 , CO , O_2 , NO_2 , NO și NO_x . Suplimentar, el indică și câțiva parametri termodinamici foarte importanți precum excesul de aer, temperatura, presiunea, viteza gazelor, concentrația de CO_2 etc.

Analizorul este certificat metrologic de către Institutul Național de Metrologie din București.

În figura 4.34 a) și b) este prezentat modul de prelevare a probelor de analiză prin amplasarea sondei gazoanalizorului TESTO la ieșirea fumului din sistemul de eșapare al locomotivei.



Figura 4.34. Campanie măsurători în regim static: a) locomotiva diesel hidraulică 125 și b) locomotiva diesel hidraulică 125 modernizată

Gazoanalizorul TESTO 350 M/XL este un echipament performant pentru determinarea în timp real, „on line” a concentrațiilor emisiilor din gazele de ardere. Funcționează pe principii electrochimice cu celule speciale. În urma unor reacții electrochimice, se generează curent electric de intensitate proporțională cu concentrația speciei măsurate.

Aparatul este format din trei părți principale: unitatea de analiză, unitatea de control și sonda de prelevare a gazelor. Opțional, se pot atașa diferiți senzori de temperatură precum și o sondă Pitôt - Prandtl. Unitatea de analiză este echipată cu două intrări diferite pentru senzorii de temperatură: una pentru determinarea temperaturii gazelor prelevate și una pentru altă utilizare, spre exemplu pentru determinarea temperaturii mediului ambiant.

Unitatea de analiză (figurile 4.35, 4.36) conține celulele electrochimice (cu 2 sau 3 electrozi) de reacție, bateria de acumulatori, filtrele pentru reținerea impurităților solide din gazele de ardere și aer, decantorul pentru condens și conexiuni electropneumatice, sistemul Peltier de răcire a gazelor.

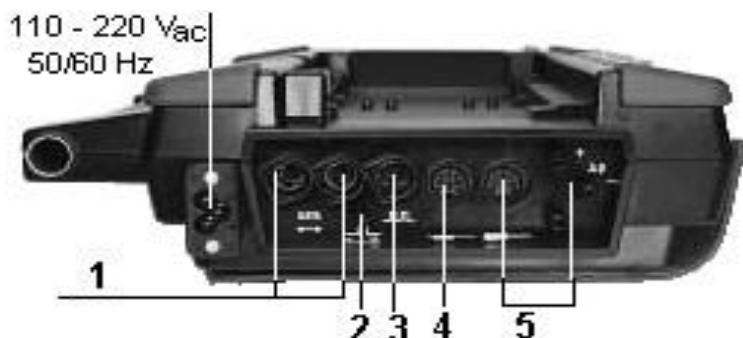


Figura 4.35. - Unitatea de analiză, vedere laterală [5]: 1 - conexiuni pentru transfer de date; 2 - sistem de diluție; 3 - semnal de alarmă; 4 - conectare senzor de temperatură; 5 - conectare sondă

Gazul aspirat prin sondă este introdus în celulele de reacție atunci când pompa de gaz este pornită manual sau automat. În prealabil gazul de analizat este răcit brusc la $4 \div 8$ °C, având loc condensarea vaporilor și separarea lor, pentru a evita reacția cu NO₂ și SO₂ și formarea acizilor. Gazul uscat trece apoi printr-un filtru special, în vederea reținerii particulelor solide. Acest filtru funcționează și ca o capcană pentru apă. În cazul că mai există umiditate în gazele aspirate filtrul ar acționa ca un impermeabil, prin închiderea porilor, în contact cu apa, protejând astfel senzorii și pompa.

În urma reacțiilor celulele emit un semnal electric, prelucrat în unitatea de control, valorile concentrației gazelor analizate fiind afișate. Surplusul de gaz este evacuat continuu.

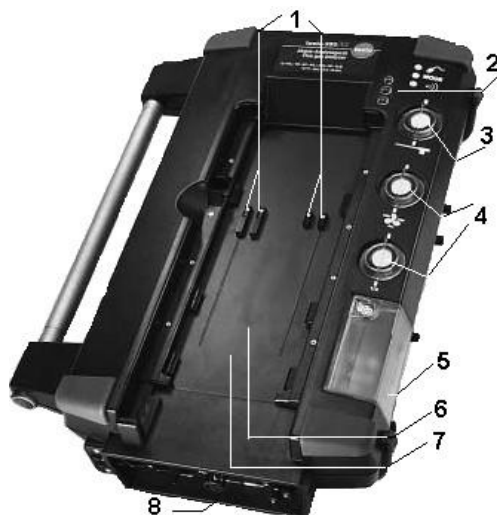


Figura 4.36. Unitatea de analiză, vedere de sus [5]: 1 - contactoare electrice; 2 - leduri de control; 3 - filtrul pentru particule solide; 4 - filtre de reținere particule din aerul aspirat; 5 - colectoare de condens; 6 - celule de analiză; 7 - sistem integrat de determinare a vitezei și presiunii gazelor; 8 - conexiuni

Unitatea de control (figura 4.37) este un dispozitiv de măsurare independentă de unitatea de analiză. Este echipată cu conexiuni de intrare la care pot fi conectați, pe lângă unitatea de analiză, senzori de temperatură, umiditate, viteză, turbulență, presiune, curent și tensiune, precum și turație. Rezultatele pot fi afișate grafic pe șase canale simultan. Unitatea de control este operată fie cu ajutorul tastaturii, fie cu un creion cu comandă de contact. Pe lângă valorile măsurate mai sunt afișate și informații cum ar fi configurarea sistemului și locația. Instrumentul este echipat cu o sursă de lumină pentru operarea în condiții de întuneric.

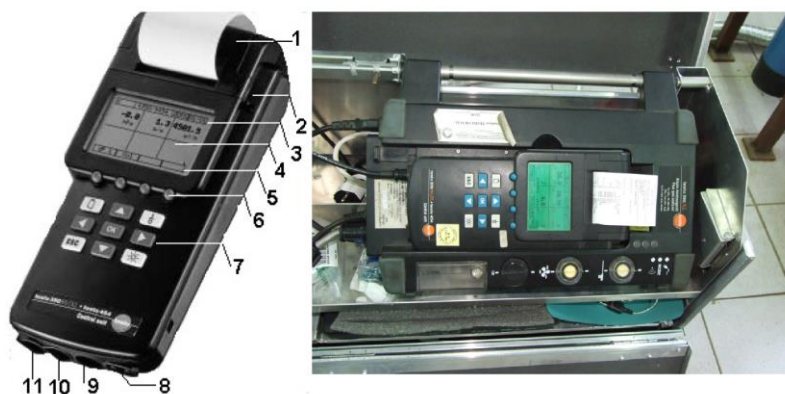


Figura 4.37. Unitatea de control a instrumentului TESTO [5]:

1 – imprimantă, 2 – touch-pen (creion de contact), 3 – bară pentru informații de sistem, 4 – afișare valori măsurate, 5 – bară pentru informații legate de funcționare, 6 – taste operare funcțiuni, 7 – tastatură, 8 – conectare sondă presiune, 9 – conectare probă, 10 – conectare unitate de analiză, 11 – interfață serială

Prin conectarea unui sistem de achiziție de date se pot extinde intrările pentru senzori. Unitatea este echipată cu memorie proprie, în care se pot stoca până la 250.000 de date, precum și cu o imprimantă încorporată, pentru tipărirea informației. Datele măsurate pot fi transferate și către un PC, printr-o interfață de tip serial.

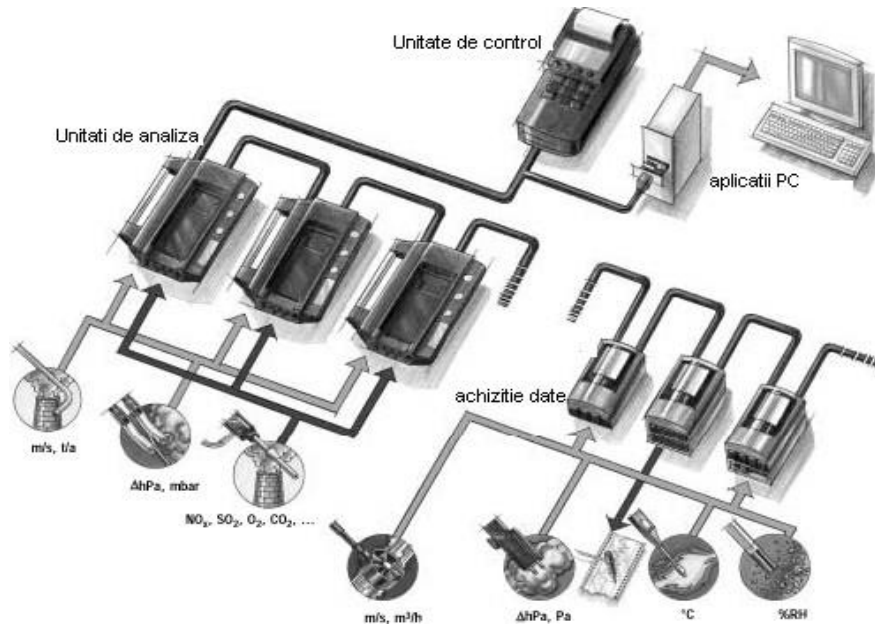


Figura 4.38. Montaj de interconectare a aparatelor tip TESTO, pentru măsurători continue complexe

Gazoanalizorul TESTO 350 M/XL este folosit și la măsurători de lungă durată (săptămâni), fiind controlat de un program special, ComSoft 3. În acest caz se recomandă utilizarea unui calculator de proces separat, la care să fie conectată unitatea de analiză.

Aparatul poate fi echipat cu mai multe tipuri de sonde de prelevare a gazelor senzori. Acestea diferă în funcție de caracteristicile gazelor analizate.



Figura 4.39. Sonda de prelevare a gazelor

Aparatul poate fi echipat cu mai multe tipuri de sonde de prelevare a gazelor. Acestea diferă în funcție de caracteristicile gazelor analizate. Astfel există

diferențe între sondele destinate prelevării gazelor de eșapament sau gazelor evacuate la coș, între cele destinate măsurătorilor, în intervalul de temperaturi speciale sau continue. Dimensiunile canalului de curgere a gazelor și necesitatea de a fi încălzite sau nu sunt alte două criterii de selectare. În figura 4.39 este prezentată sonda de prelevare a gazelor evacuate, care operează la temperaturi de maxim 1200 °C.

Simultan cu prelevarea și determinarea concentrației noxelor gazoase din gazele de ardere, aparatul calculează următorii parametri:

a) concentrația dioxidul de carbon, CO_2 :

$$CO_2 = \frac{CO_2^{max} \cdot (21 - O_2^{mas})}{21} \quad [\%] \quad (4.4)$$

unde:

CO_2^{max} este valoarea maximă de CO_2 specifică combustibilului, în %,

O_2^{mas} - concentrația de oxigen măsurată, în %.

b) coeficientul excesului de aer λ :

$$\lambda = \frac{CO_2^{max}}{CO_2} \quad [-] \quad (4.5)$$

unde:

CO_2^{max} este valoarea maximă de CO_2 , specifică combustibilului, în %,

CO_2 - este concentrația de dioxid de carbon măsurată, în %.

c) oxizi de azot, NO_x (se calculează ca și sumă):

$$NO_x = NO + NO_2 \quad (4.6)$$

unde:

NO este concentrația de monoxid de azot măsurată, în ppm,

NO_2 - concentrația de dioxid de azot, măsurată, în ppm.

Corect este să se folosească un factor 46/30 transformare a NO în NO_2 , conform maselor molare, dar literatura indică această corecție, dat fiind că se poate renunța la acest factor.

d) viteza de curgere a gazelor:

$$w = \frac{575 \cdot \Delta p \cdot (t + 273,15)}{p} \cdot \alpha \quad [m/s] \quad (4.7)$$

unde:

p este presiunea absolută, în Pa,

Δp - presiunea dinamică, indicată în mbar și transformată în Pa,

α - factorul tubului Pitot, între 0 ÷ 1.50,

t - temperatura gazelor de ardere, în °C,

575 – factor ce ține seama de construcția instrumentului.

Astfel debitul de gaze uscate analizate se calculează:

$$\dot{V}_{gu} = w \cdot \frac{S}{10.000} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.8)$$

unde:

S este secțiunea canalului din sondă, în cm²,

w – viteza gazelor, în m/s.

Debitul masic pentru speciile CO, NO, SO₂ se calculează astfel:

$$\dot{m}_{CO} = C_{CO} \cdot \frac{M_{CO}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \dot{V}_{gu} \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \quad [\text{kg/h}] \quad (4.9)$$

$$\dot{m}_{NO_x} = C_{NO_x} \cdot \frac{M_{NO_x}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \dot{V}_{gu} \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \quad [\text{kg/h}]$$

(4.10)

$$\dot{m}_{SO_2} = C_{SO_2} \cdot \frac{M_{SO_2}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \dot{V}_{gu} \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \quad [\text{kg/h}] \quad (4.11)$$

unde:

C_{CO}, C_{NO_x}, C_{SO₂} – concentrațiile volumice măsurate ale speciilor indicate, în ppm,

T – temperatura medie a gazelor prelevate, în K,

T₀ = 273,15 K,

p – presiunea absolută, în Pa,

p₀ = 101325 Pa,

M_{CO}, M_{NO_x} și M_{SO₂} – masele molare ale gazelor menționate, în kg/kmol,

\dot{V}_{gu} – debitul de gaze uscate în m³/s, la presiunea p și temperatura T_a.

Se poate realiza automat și conversia unităților de măsură pentru emisiile gazoase, conform relațiilor cunoscute din literatura de specialitate, dar nu este recomandat.

Această conversie urmată de raportare a valorilor măsurate se realizează conform indicațiilor din legislația în vigoare și este foarte importantă. Conversia din ppm (concentrație volumică) în mg/m³_N (concentrație masică) se realizează cu relațiile:

$$C_{CO} = \frac{M_{CO}}{22,4} \cdot \frac{21 - O_{2.ref}}{21 - O_2} \cdot CO_{ppm} \quad [\text{mg/m}^3_N] \quad (4.12)$$

$$C_{NO2} = \frac{M_{NO2}}{22,4} \cdot \frac{21 - O_{2.ref}}{21 - O_2} \cdot (NO + NO_2)_{ppm} \quad [mg/m^3_N] \quad (4.13)$$

$$C_{SO2} = \frac{M_{SO2}}{22,4} \cdot \frac{21 - O_{2.ref}}{21 - O_2} \cdot SO_{2ppm} \quad [mg/m^3_N] \quad (4.12)$$

unde:

21 este concentrația volumică a oxigenului în aer, în %,

$O_{2.ref}$ - oxigenul de referință conform legislației în vigoare, în %,

22,4 – volumul molar în condițiile normale,

O_2 – valoarea măsurată a concentrației volumice de oxigen, în %

M_{CO} , M_{NO_x} și M_{SO_2} – masele molare, în kmol/kg

CO_{ppm} – valoarea măsurată a concentrației de CO, în ppm,

$(NO+NO_2)_{ppm}$ – valoarea măsurată a concentrației de NO_x , în ppm,

SO_{2ppm} – valori măsurate ale concentrației de SO_2 , în ppm

La motorul diesel s-a considerat $O_{2.ref} = 5\%$, conform nomenclaturii TA Luft 2002.

După interconectarea celor trei elemente ale analizorului (unitate de control, unitate de analiză și sondă) se pornește aparatul, fie prin conectarea acestuia la rețeaua electrică de 220 V fie prin bateria proprie de acumulatori.

În figura 4.40 se arată un screenshot al displayului aparatului, ce arată cum intră automat în procedura de calibrare la zero și de spălare a celulelor de reacție. Sonda aparatului nu este introdusă în canalul de evacuare a gazelor arse, pe parcursul acestei calibrări.



Figura 4.40. Screenshot ce indică momentul de calibrarea la zero a analizorului.

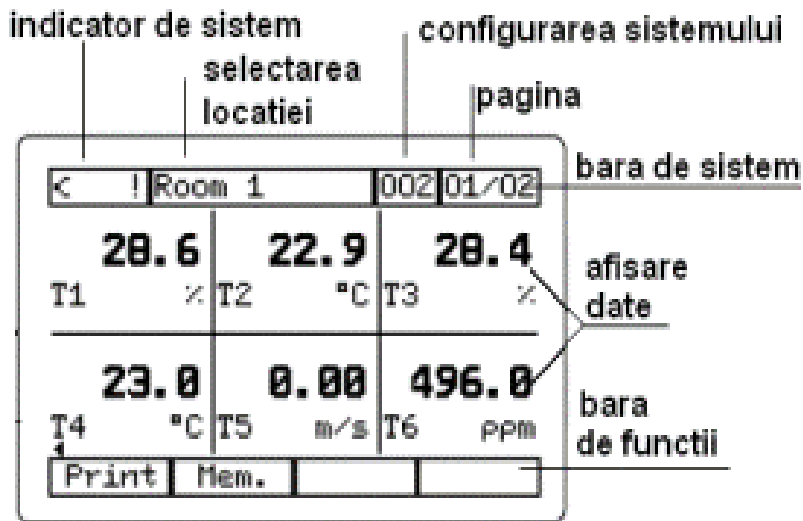


Figura 4.41. Display, Testo 350 [5].

După intrarea în regim a aparatului acesta trebuie programat ca să achiziționeze și să afișeze datele care prezintă interes pentru utilizator. În figura 4.41 se prezintă display-ul aparatului, din care rezultă valorile de temperatură măsurate.

Diferitele meniuri sunt afișate în extenso, fie prin atingerea ecranului cu un creion de contact, fie prin apăsarea tastelor specifice din dreptul meniurilor. Fiecărui meniu îi corespund unul sau mai multe submeniuuri.

În figura 4.42 se prezintă detaliat fiecare submeniu în parte și parametrii caracteristici fiecăruia. Astfel, se observă că aparatul poate fi programat să pornească automat, pot fi alese unitățile de măsură pentru fiecare parametru în parte, și că se poate seta tipul canalului de curgere a gazelor, etc. Setarea aparatului pentru tipul de combustibil corespunzător este obligatorie, acesta fiind ales din baza de date a aparatului (figura 4.43). Dacă combustibilul nu este în baza de date a calculatorului instrumentului, este necesară și indicarea valorii CO_{2,max} specifice.

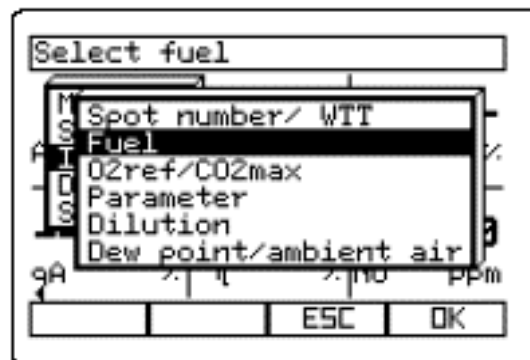


Figura 4.42. Display al ecranului specific bazei de alegere a combustibilului [5].

Valoarea corectă a oxigenului de referință se alege cu mult discernământ. După setarea parametrilor de măsurat (figura 4.44) se introduce sonda în canalul de gaze și se parcurg etapele de calibrare și măsurare propriu-zise. Datele măsurate sunt memorate și/sau vizualizate.

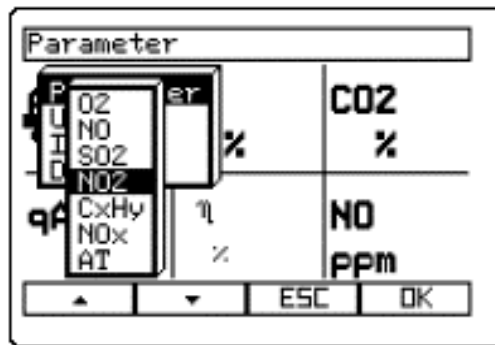


Figura 4.43. Display indicând posibilitate de setarea parametrilor și unităților de măsură [5].

4.4.4. Descrierea aparatului de măsură a emisiilor de NO_x

Principiul de funcționare se bazează pe modificarea intensității curentului galvanic generat de o pilă galvanică al cărei electrolit își modifică proprietățile în urma reacției sale cu componenta gazoasă ce trebuie determinată și a cărei concentrației trebuie măsurată. Celulele de măsură sunt chiar niște elemente galvanice care generează un curent proporțional cu numărul ionilor ce disociază în soluția de electrolit ca urmare a interacțiunii cu gazul în cauză. Principiul este similar chemiluminoscenței doar că în acest caz reacția generează un curent. Intensitatea curentului este proporțională cu debitul masic de oxid nitric din camera de reacție și poate fi măsurată cu mare sensibilitate utilizând aparate electronice standard. Celula electrochimică necesită un electrolit care poate fi un lichid sau, în mod ideal un solid.

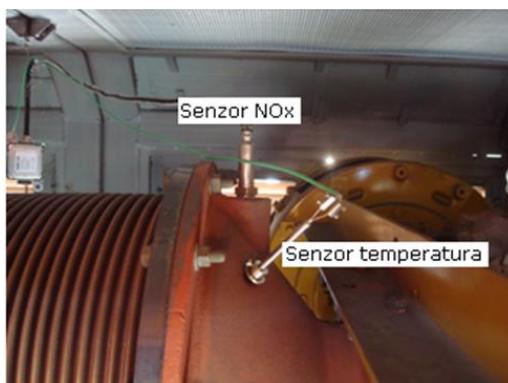


Figura 4.44 Locul montării senzorului



Figura 4.45. Unitatea de control a senzorului

Conform prescripțiilor oferite de furnizor, acest senzor poate măsura concentrații ale emisiilor de NO_x de la 0 până la 2000 ppm.

4.5. Realizarea unor regimuri de lucru stabile conform normelor în vigoare, opțiuni cicluri de funcționare

Motorul diesel este cel mai eficient tip de centrală dintre toate tipurile de motoarele cu ardere internă cunoscute. Locomotivele ce tractează trenurile pe secțiile secundare cu precădere dar și de pe secțiile principale (magistrale), camioane de mare tonaj, autobuze urbane și echipamente industriale din toată lumea sunt echipate aproape exclusiv cu motoare diesel iar tracțiunea diesel la autovehicule de pasageri este din ce în ce mai populară. În viitorul apropiat, nevoile de transport din lume vor continua să se bazeze pe motor diesel și omologul său, motorul pe benzină. Cu toate acestea, tehnologiile ambelor motoare evoluează într-un ritm tot mai alert, ambele confruntându-se cu două provocări majore: reducerea emisiilor și creșterea eficienței energetice.

Motoarele cu ardere internă au o contribuție importantă la poluarea aerului, care pot fi dăunătoare pentru sănătatea umană și pentru mediu. Ca răspuns, tehnologii diesel curate, cu emisii de NO_x și PM apropiate de zero au fost dezvoltate și introduse în regiunile cu standardele de emisie mai stricte: America de Nord, Europa și Japonia. În timp ce, în aceste regiuni, noile motoare diesel curate le înlocuiesc treptat pe cele vechi și poluante, motoarele mari existente deja în exploatare sunt post-echipate (sisteme post-tratare a gazelor de evacuare) cu tehnologii curate pentru reducerea emisiilor. Deoarece această tendință se extinde și în alte părți ale lumii, accentul pus inițial asupra mediului s-a mutat pe schimbările climatice și eficiența energetică. Beneficiile asupra mediului a nivelului redus de emisii de gaze cu efect de seră, în mod tradițional asociate motorului diesel, nu mai sunt suficiente.

Pentru a răspunde normelor actuale și viitoare privind nivelul emisiilor de gaze cu efect de seră precum și cele de consum de combustibil, noi tehnologii – ardere la temperaturi joase, recuperarea căldurii degajate, sisteme de propulsie electrică, care cresc eficiența nu numai a sistemului de propulsie, a motor diesel, dar și a întregul vehicul sunt într-o dezvoltare continuă. Astfel motoarele diesel sunt supuse anumitor cicluri de funcționare conform normelor în vigoare. Pentru a reproduce în tocmai funcționarea reală a motorului, acesta a fost supus testelor statice și dinamice pe standul de încercări.

1. Regimurile de lucru pentru motorul diesel de 200 kW sunt:

- 1.1 Ciclu NRTC (figura 4.47) cu o pornire rece și una caldă conform standardului Stage II/IV echivalentul normei Tier IV în America;
- 1.2 Ciclu NRSC conform ISO 8178 C1;
- 1.3 Teste de variație al coeficientului α ($\alpha = \text{NH}_3/\text{NO}_x$).

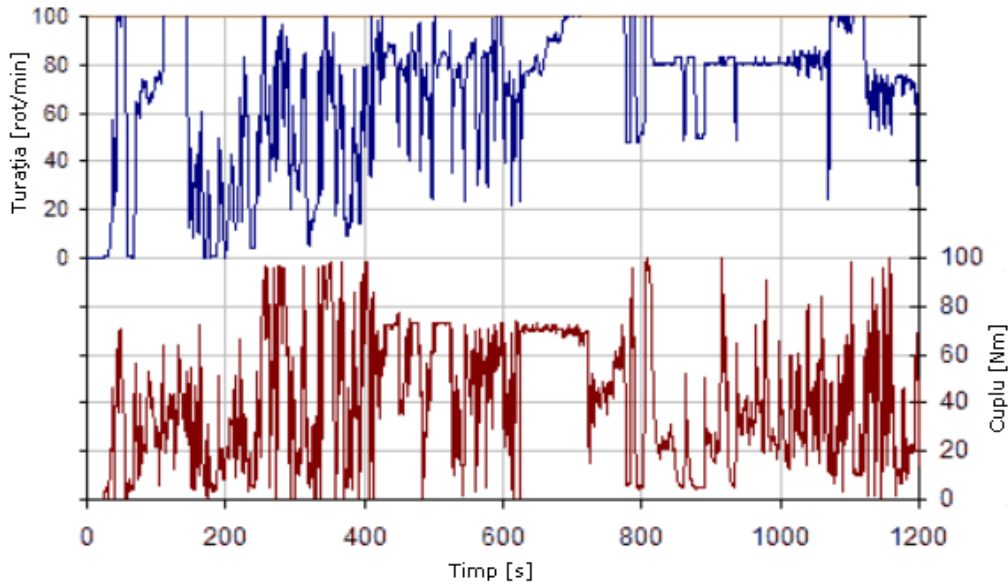


Figura 4.46 Ciclu dinamic (NRTC) [60]

2. Regimuri de lucru pentru locomotiva LDH 125 respectiv LDH 125 modernizată:

2.1 Măsurători statice la diferite trepte de încărcare;

2.2 Măsurători dinamice efectuate în timpul parcursului pe diferite secții de circulație.

Ca și concluzii la acest capitol se pot menționa:

- proiectarea unui sistem de gestiune a datelor (culegere, transmitere, stocare, prelucrare);
- participarea la realizarea standului pentru efectuarea testelor în regim static și dinamic pe un motor diesel echipat cu sistem SCR la Facultatea Tehnică din Regensburg;
- reglarea funcțională a parametrilor standului pentru a permite realizarea programului de cercetare;
- stabilirea și calibrarea echipamentelor și instalațiilor necesare efectuării măsurătorilor;
- efectuarea de teste în cicluri dinamice și statice (conform standardelor ISO 8178).

5. STUDII TEORETICE ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND REDUCEREA EMISIILOR DE NO_x

Pentru realizarea obiectivelor, în perioada 2008-2011, au fost întreprinse diferite studii teoretice cât și experimentale, în acest context au fost monitorizate și analizate toate activitățile privind concentrațiile emisiilor poluante provenite din exploatarea locomotivelor diesel hidraulice LDH 125 și locomotivelor diesel hidraulice LDH 125 modernizată (Caterpillar). Aceste au condus la ideea că o reducere a consumului de combustibil, utilizarea biodieselului sau aplicarea diferitelor metode de reducere active și/sau pasive, reprezintă un obiectiv major și poate fi abordat în scopul optimizării combustiei respectiv a tratamentelor post-tratare a gazelor de evacuare [22, 24].

Așa cum s-a menționat în capitolul 4, în prima etapă, desfășurată în stagiul de cercetare, pe un stand specializat de încercări din laboratorul CEEC al facultății tehnice din Regensburg, pe care a fost montat un motor diesel de 200 kW utilizat în echiparea buldozerelor dotat cu un sistem SCR de tratare a gazelor de evacuare, au fost efectuate următoarele teste:

1. stabilirea ciclului de funcționare;
2. determinarea nivelului emisiilor de NO_x al motorului diesel;
3. teste în ciclu NRTC pe motorul echipat cu sistem SCR;
4. teste în ciclu NRTC pe motorul echipat cu sistem SCR;
5. test de variație a coeficientului α ($\alpha = \text{NH}_3/\text{NO}_x$).

În cea de-a doua etapa desfășurată în țară în colaborare cu SN "CFR Călători" SA Timisoara cu echipament din dotarea laboratorului, au fost efectuate următoarele măsurători:

1. măsurători în regim static pe locomotivele diesel hidraulice LDH 125 ;
2. măsurători în regim static pe locomotivele diesel hidraulice LDH 125 modernizată Caterpillar;
3. măsurători în regim dinamic, pe diferite secții de circulație, la locomotiva diesel hidraulice LDH 125 modernizată Caterpillar.

5.1. Măsurători statice și dinamice pe motorul diesel echipat cu sistem de reducere catalitică selectivă (SCR)

5.1.1. Stabilirea ciclului de funcționare NRTC

Acest set de măsurători este necesar pentru a contura situația de referință față de care vor fi raportate diferitele măsurători ce vor fi efectuate. În aceste sens, pentru a reproduce cât mai exact funcționarea unui astfel de motor, prin intermediul unui computer conectat cu unitatea de control al motorului, acestuia i s-a impus un

ciclu de funcționare conform standardelor aflate în vigoare, denumit ciclu NRTC (figura 4.47).

Ciclu de funcționare NRTC a fost repetat de 4 ori pe zi, în două zile diferite, rezultatele obținute fiind prezentate grafic în figura 5.1

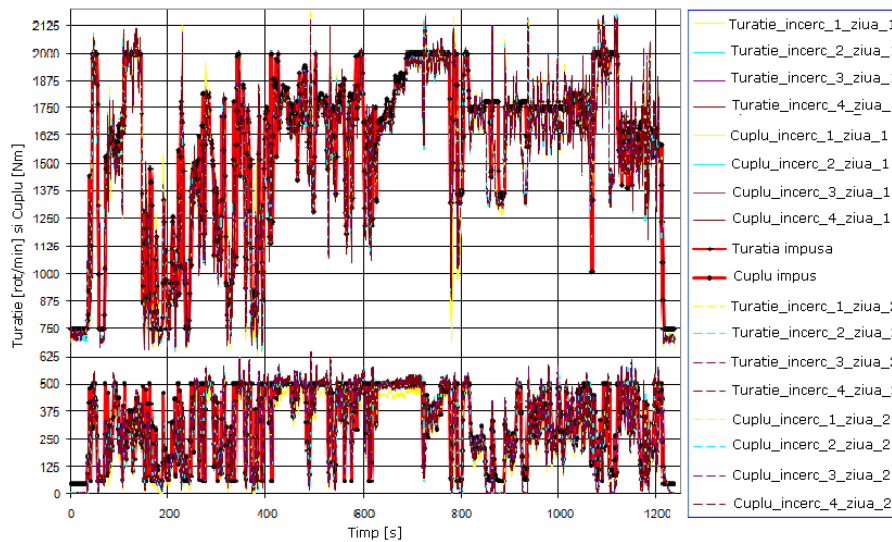


Figura 5.1. Ciclu de funcționare NRTC

Pentru o mai bună observație, în figura 5.2 este detaliată porțiunea din grafic cuprinsă între secunda 100 de funcționare și secunda 200 de funcționare a motorului.

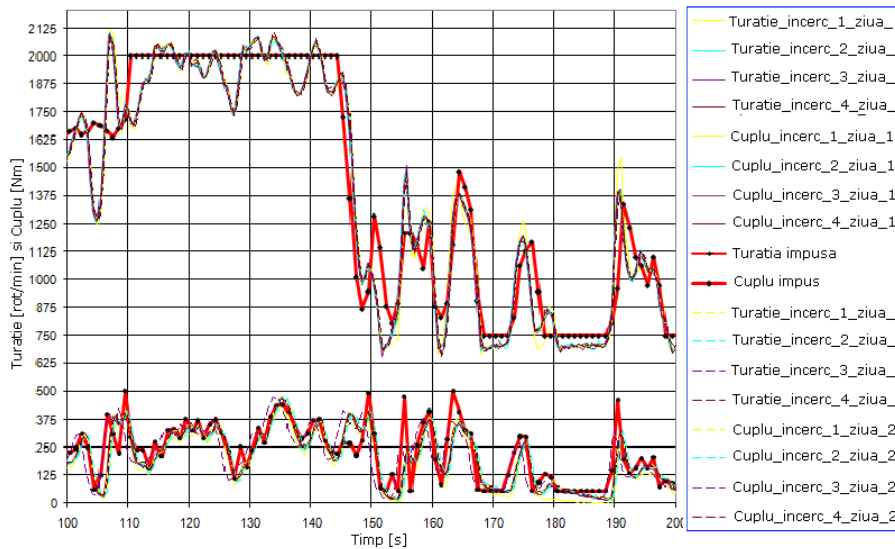


Figura 5.2. Porțiune detaliată din ciclul NRTC

Din figurile 5.1 respectiv figura 5.2 se poate observa faptul că turațiile respectiv cuplurile efective urmăresc curba impusă a turației respective a cuplului, diferențele existente fiind neglijabile și fără efecte negative asupra măsurătorilor ulterioare.

Durata unui ciclu NRTC este, conform normelor, de aproximativ 1200 secunde, cel creat în laborator și aplicat în cercetare are o durată de 1280 secunde.

5.1.2. Determinarea nivelului emisiilor de NO_x al motorului diesel

După determinarea ciclului dinamic de funcționare, motorul diesel a fost supus din nou testelor sub acest tip de ciclu, de această dată fiind măsurate emisiile de NO_x în punctele cheie ale sistemului, care sunt: concentrația emisiilor de NO_x la intrare în sistemul de evacuare respective concentrația emisiilor de NO_x după catalizatorul SCR conform figurii 4.7. Determinarea concentrației emisiilor de NO_x este importantă deoarece reprezintă situația de referință la care se va raporta viitoarele măsurători.

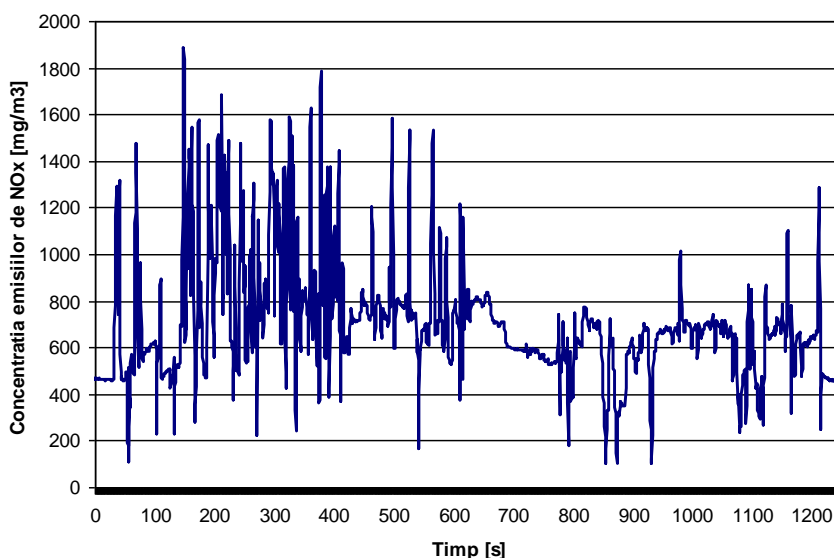


Figura 5.3. Valoarea medie a concentrației de NO_x

În figura 5.3 este prezentată valoarea medie a concentrațiilor de NO_x rezultate în urma testelor, aceasta fiind considerată variația de referință a emisiilor de NO_x ale motorului diesel. Ca și în cazul menționat la paragraful 5.1.1., ciclul NRTC a fost repetat de 4 ori pe zi, timp de două zile. Figura 5.4 reprezintă un detaliu al acestor măsurători, detaliu ce cuprinde intervalul de măsură 700 [s] – 800 [s] respectiv figura 5.5 prezintă în detaliu intervalul de măsură 720 [s] – 740 [s] în cele două puncte critice ale sistemului.

5.1 – Măsurători statice și dinamice pe motorul diesel 117

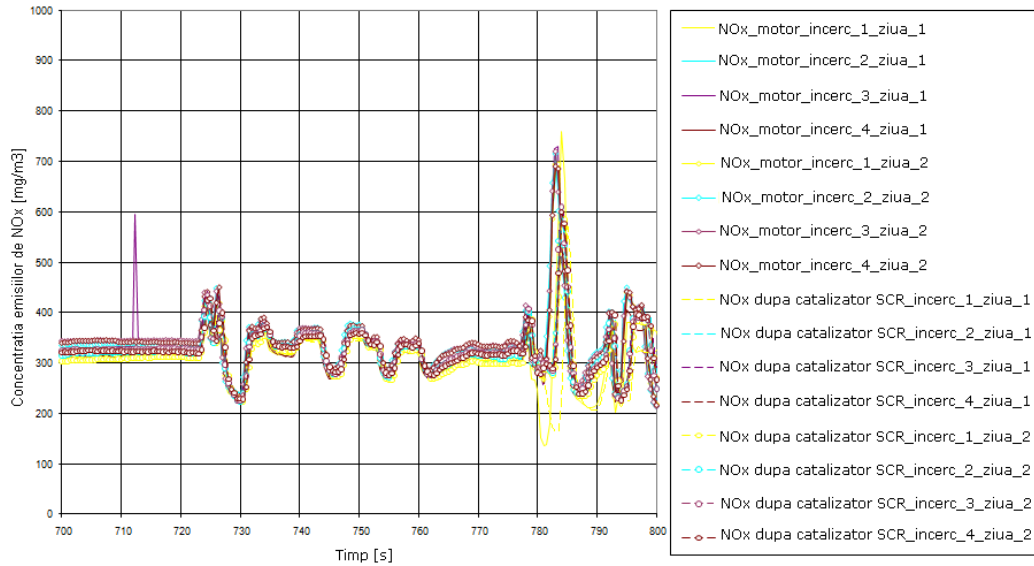


Figura 5.4. Concentrația emisiilor de NO_x pe intervalul 700 [s] – 800 [s]

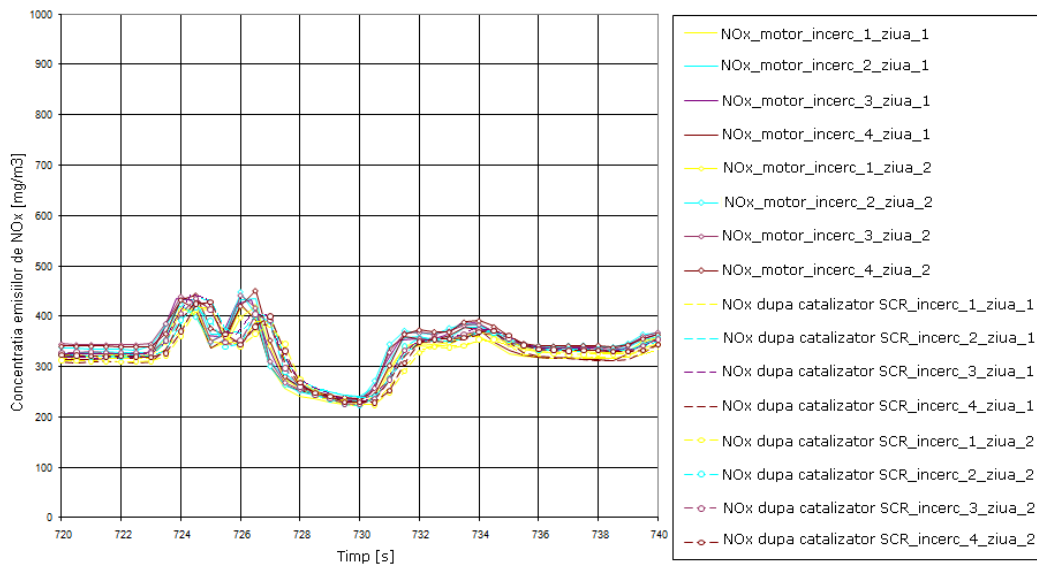


Figura 5.5. Concentrația emisiilor de NO_x pe intervalul 720 [s] – 740 [s]

Analizând figurile 5.4 respectiv figura 5.5, se poate observa faptul că nu există diferența mari între cele opt măsurători efectuate, fapt determinat de calibrarea bună a aparatelor de măsură și a funcționării uniforme a motorului diesel testat. Acest lucru conferă siguranță și credibilitate viitoarelor teste.

5.1.3. Teste în ciclu NRTC pe motorul echipat cu sistem SCR

Motorul diesel aflat pe standul de încercări este supus repetat ciclului NRTC iar gazele emise de acesta sunt supuse unui tratament de denoxare, realizat de un sistem SCR cu injecție de substanță reducătoare AdBlue.

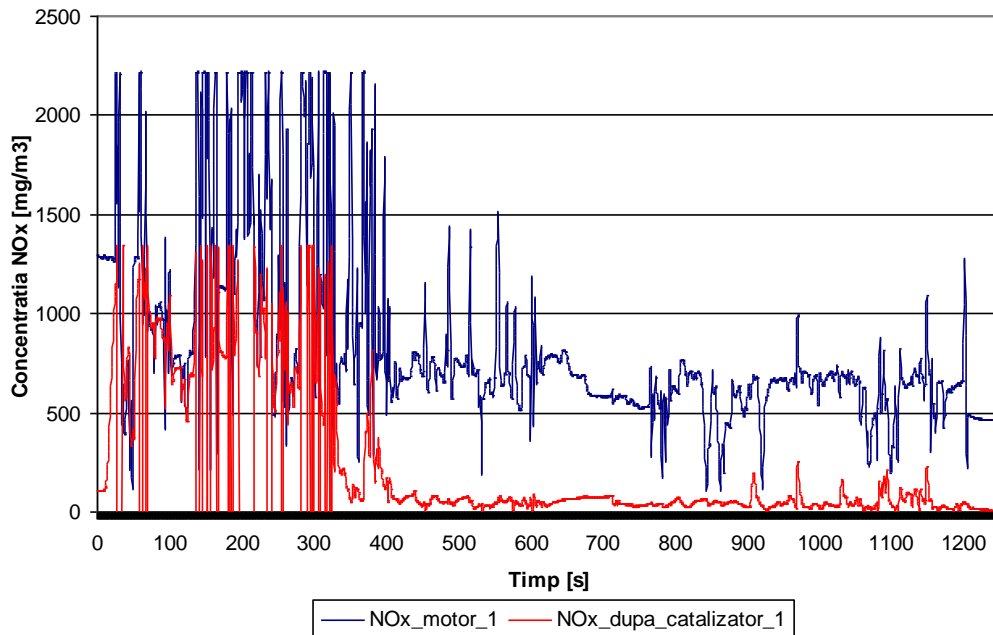


Figura 5.6. Ciclul NRTC – rularea 1, motor rece

În figura 5.6 este prezentată prima rulare, la rece, a motorului în care injectarea de substanță reducătoare a început de la temperatura de 210°C, temperatură măsurată la ieșirea gazelor de eșapare din motor. Această temperatură reprezintă pragul minim al injecție de AdBlue deoarece sub această valoare reacțiile chimice din interiorul catalizatorului nu sunt complete. În prima parte a graficului, valorile concentrației de NO_x este aceeași în ambele puncte de măsură după care urmează o zonă de instabilitate cauzată de fluctuații mari ale concentrației de NO_x dar și a cantității de AdBlue injectată. După aproximativ 400 de secunde de funcționare valorile concentrației devin mai uniforme datorată prezenței unei cantități de AdBlue în catalizator, mici depozite care preiau variațiile bruște ale concentrației de NO_x dar și cu scurte creșteri ale acestei concentrații în punctele de solicitare maximă a motorului unde viteza de curgere a gazelor de ardere este foarte mare, puncte în care debitul masic al aerului de admisie ajunge până la valori de 900 [kg/h] dar și datorită unei temperaturi optime de funcționare a catalizatorului. În urma acestei rulări s-a obținut o valoare medie de reducere a emisiilor de NO_x de 76,32 %.

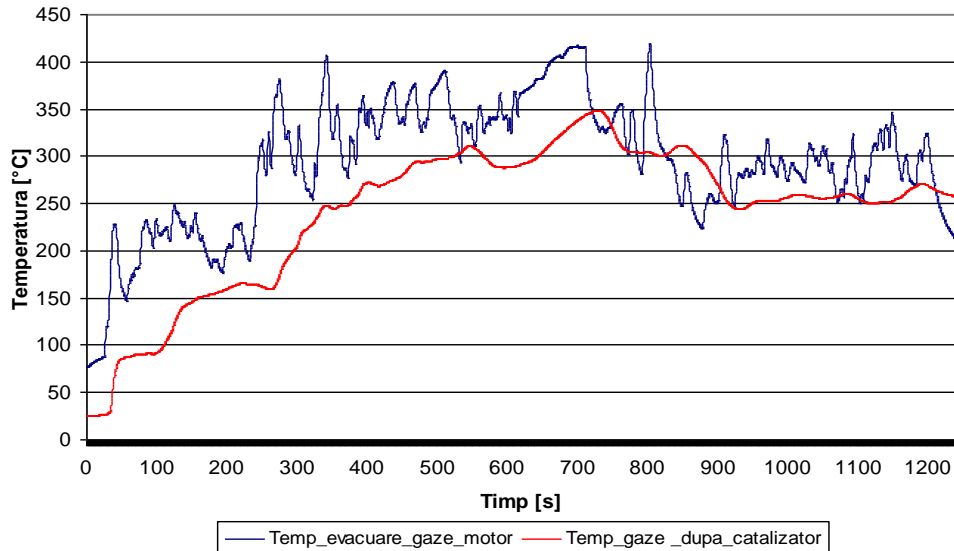


Figura 5.7. Variația temperaturii gazelor de eșapare, rulare 1

În figura 5.7 este prezentată variația temperaturii gazelor de eșapare în timpul ciclului măsurate în cele două puncte critice. Temperatura gazelor crește la temperaturi de peste 200 °C foarte repede fapt ce favorizează injecția de AdBlue într-un interval scurt după pornirea motorului. În continuare, temperaturile păstrează valori de peste 210 °C, temperaturi optime pentru reacțiile chimice de reducere din interiorul catalizatorului.

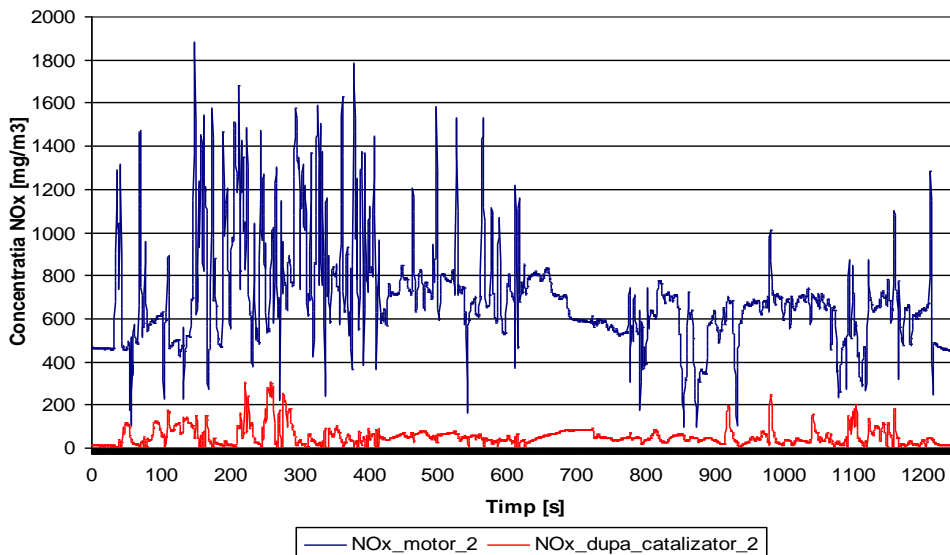


Figura 5.8. Ciclu NRTC – rulare 2, motor cald

Motorul cald (rulat) are o influență majoră asupra emisiilor de NO_x, fapt ce se poate observa din figura 5.8. Acest lucru se datorează absorbției mai mici de energie termică din partea blocului motor (pereților cilindrilor și chiulasă), energie termică produsă prin comprimarea combustibilului și utilizată în procesul de combustie, pe când în cazul primei rulări, până la încălzirea blocului motor, o parte semnificativă din căldură a fost cedată acestuia, arderea a fost incompletă și au rezultat concentrații mai mari de NO_x. Valorile concentrației de NO_x în urma rulării au rămas la valori reduse, peste 96% din timpul rulării aceste nu au depășit valoarea de 200 [mg/m³].

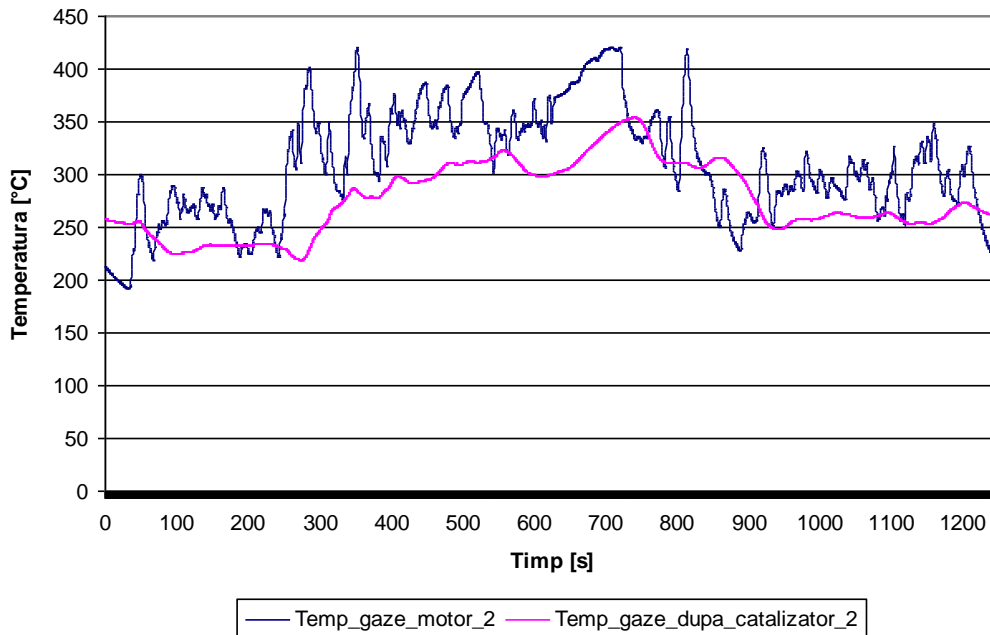


Figura 5.9. Variația temperaturii gazelor de eșapare, rulare 2

Valorile mari ale temperaturii gazelor de eșapare, situate între valorile optime procesului de denoxare, au avut un efect pozitiv asupra procentului de reducere al emisiilor de NO_x, acesta având valoarea medie de 92,22 % , având perioade în care această valoare a urcat la valori constante de 98-99%.

5.1.4. Teste în cicluri NRSC pe motorul echipat cu sistem SCR

Acest tip de teste au de asemenea o importanță deosebită deoarece furnizează informații cu privire la concentrația emisiilor de NO_x emise la funcționarea motorului pe o durată mai lungă într-un anumit regim (turație și cuplu constante). Testele statice (de echilibru) de tip NRSC au fost efectuate conform standardului ISO 8178, care presupune rularea motorului de două ori, o dată rece și o dată cald conform tabelului 5.1.

5.1 – Măsurători statice și dinamice pe motorul diesel 121

Tabelul 5.1. Ciclu NRSC C1 [60]

Modul	Rulare 1 - motor rece				Rulare 2 - motor cald			
	1	2	3	5	6	7	8	11
Cuplu, [%]	100	75	50	10	100	75	50	0
Turația	Maximă evaluată				Intermediară			Ralanti

În tabelul 5.2 respectiv 5.3 sunt prezentate valorile obținute în urma efectuării ciclului NRSC.

Tabelul 5.2. Valori ciclu NRSC cu motor rece

Turația [rot/min]	C1_rulare_1_motor rece							
	1900				1500			742
Cuplu [Nm]	870	653	435	87	1084	813	542	0
NOx_motor [mg/m ³]	848.22	684.7	569.5	343	1226	921.9	687.4	423
NOx_dupa_cat_SCR [mg/m ³]	166.16	113.9	41.54	213.1	199.7	91.12	16.08	382
c_NH3 [mg/m ³]	31,98	22,94	16,69	0	61,19	9,73	2,78	0
T_SCR_UP [°C]	479	411	301	179	401	393	326	113
T_SCR_DOWN [°C]	482	417	306	182	410	401	334	127
MAF [kg/h]	790	770	725	467	727	653	553	139
λ [-]	1.4	1,72	2,3	4,33	1,49	1,63	1,99	5
Debit masic uree [mg/s]	447	345	275	110	610	410	259	40
p_AMB [mbar]	959							

Tabelul 5.3. Valori ciclu NRSC cu motor cald

Turația [rot/min]	C1_rulare_2_motor cald							
	1900				1500			742
Cuplu [Nm]	886	665	443	88.6	1094	821	547	0
NOx_motor [mg/m ³]	846	690	565	344	1201	917	689	434
NOx_dupa_cat_SCR [mg/m ³]	166	114	33.5	204	190	84.4	21.4	415
c_NH3 [mg/m ³]	43,11	22,94	8,34	0	77,87	15,3	4,17	0
T_SCR_UP [°C]	474	410	312	180	404	397	331	95
T_SCR_DOWN [°C]	477	416	317	183	412	405	338	101
MAF [kg/h]	793	757	721	460	725	654	553	141
λ [-]	1,4	1,73	2,28	4,32	1,46	1,61	1,96	5
Debit masic uree [mg/s]	442	330	272	110	605	410	259	40
p_AMB [mbar]	960							

Valorile finale ale concentrațiilor de NO_x se obțin ca medie ponderată dintre 10 % din valorile obținute la funcționarea cu motorul rece și 90 % din valorile

obținute la funcționarea motorului cald. [100]. Aceste valori sunt prezentate în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4. Valori finale test ciclu NRSC

Turatia [rot/min]	C1_final							
	1900				1500			742
Cuplu [Nm]	886	665	443	88.6	1094	821	547	0
NO _x motor [mg/m ³]	845.81	689.6	565.9	344.2	1203	917.1	688.6	433
NO _x dupa_cat_SCR [mg/m ³]	166.16	113.9	34.3	204.6	191.2	85.09	20.9	412
c_NH ₃ [mg/m ³]	42	22,94	9,18	0	76,2	14,74	4,3	0
T_SCR_UP [°C]	474.5	410.1	310.9	179.9	403.7	396.6	330.5	96.8
T_SCR_DOWN [°C]	477.5	416.1	315.9	182.9	411.8	404.6	337.6	104
Debit masic aer admisie [kg/h]	792.7	758.3	721.4	460.7	725.2	653.9	553	141
λ [-]	1.4	1.729	2.282	4.329	1.463	1.612	1.963	5
Debit masic uree [mg/s]	442.5	331.5	272.3	110	605.5	410	259	40
p_AMB [mbar]	960							

Tabelul 5.4 prezintă mai multe mărimi ce au fost înregistrate în timpul testului. Dintre acestea importante fiind concentrațiile emisiilor de NO_x, temperaturile gazelor de eșapare iar pentru o dozare corectă a substanței reducătoare (debit masic uree) au fost folosite debitul masic de aer admis și coeficientul excesului de aer. La acest tip de măsurători s-a măsurat suplimentar scăpările de amonic (c_NH₃) măsurată după catalizatorul SCR care, conform datelor, au valori mari în punctele de solicitare maximă datorită vitezelor mari a gazelor de eșapare.

5.1.5. Test de variație a coeficientului de dozare α (α = NH₃/NO_x)

Acest tip de test este folosit pentru calibrarea injectorului de AdBlue dar și pentru a urmări valorile concentrațiilor de NO_x la diferite valori ale coeficientului α. Pentru acest test motorul a funcționat constant în două puncte prestabilite:

1. turația 1900 [rot/min] și cuplu 450 [Nm],
2. turația 1500 [rot/min] și cuplu 550 [Nm].

În urma rulării motorului în aceste puncte s-au obținut valorile prezentate în figura 5.10. Conform graficului se pot observa treptele de variație a coeficientului α, valorile acestuia fiind 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1 și 1,1 cu valorile corespunzătoare ale cantității de AdBlue injectat (Debit AdBlue injectat). Ca rezultat al acestor variații se poate observa nivelul reducerii concentrației de NO_x după catalizatorul SCR exprimat procentual. În cazul unei dozări cu α=0 se obține un maxim de reducere de 10 % lucru care se datorează proprietăților catalizatorului SCR dar și datorită urmelor de uree din catalizatorul SCR. Pe măsură ce valoarea coeficientului α crește se disting trepte bine conturate ale reducerii, reducere care ajunge la un procent maxim în cazul primului punct de teste la valoarea de 91 % iar în cazul celui de-al doilea punct de teste la valoarea de 97 % corespunzătoare valorii coeficientului α=1. După aceste puncte maxime, pentru α=1,1, valorile

reducerii scad, fapt datorat dozării unei cantități prea mare de substanță reductantă, fapt ce determină o creștere a concentrației de amoniac măsurată după catalizatorul SCR.

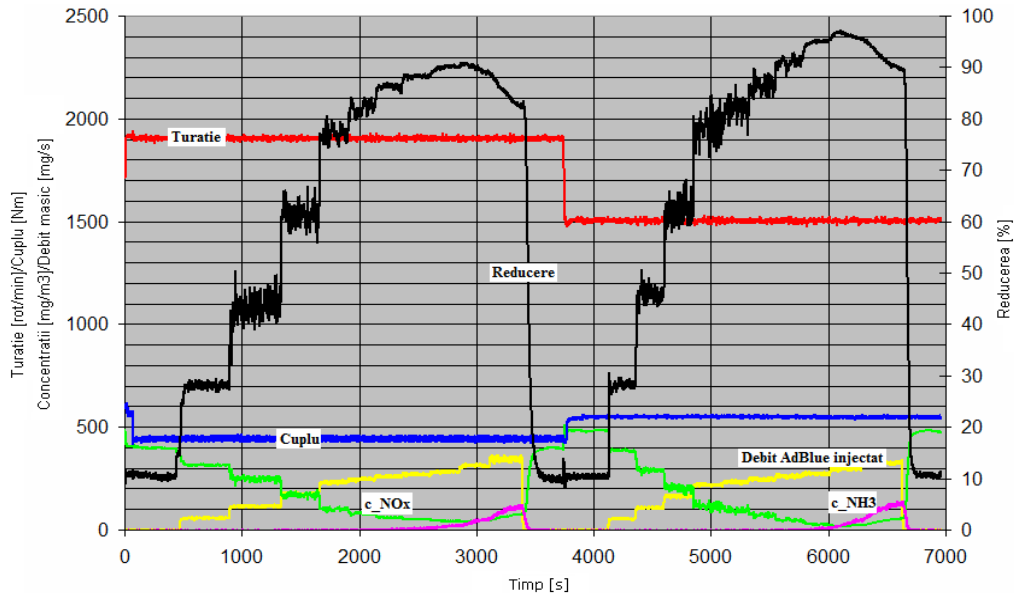


Figura 5.10. Valorile test variație coeficient α

De asemenea trebuie să se țină de faptul că senzorii de NO_x utilizați sunt sensibil la emisiile de amoniac aceștia convertind o parte din concentrația de amoniac în concentrație de NO_x (c_NO_x). Concentrația de amoniac măsurată și reprezentată pe grafic (c_NH₃) a fost măsurată cu un sensor special pentru măsurarea concentrațiilor de amoniac.

5.2. Măsurători statice și dinamice efectuate pe locomotiva diesel hidraulică LDH 125 și diesel hidraulică LDH 125 modernizată

5.2.1 Măsurători în regim static efectuate pe locomotiva LDH 125

Măsurătorile în regim static au constat în montarea echipamentului de măsură pe locomotivă după care aceasta a fost asigurată împotriva plecării prin frânarea locomotivei cu mijloacele proprii și aplicarea a 5 trepte de încărcare și măsurarea emisiilor pe fiecare treaptă de încărcare, măsurători repetate de trei ori (figura 4.33 a). Măsurarea emisiilor de noxe au fost efectuate conform condițiilor prevăzute în cartea tehnică de utilizare a gazoanalizorului tip TESTO 350 M/XL descris în capitolul 4.

În urma rezultatelor obținute din măsurători s-au trasat diagramele de variație a emisiilor de NO_x și a temperaturii în funcție de turația motorului diesel (figura 5.11).

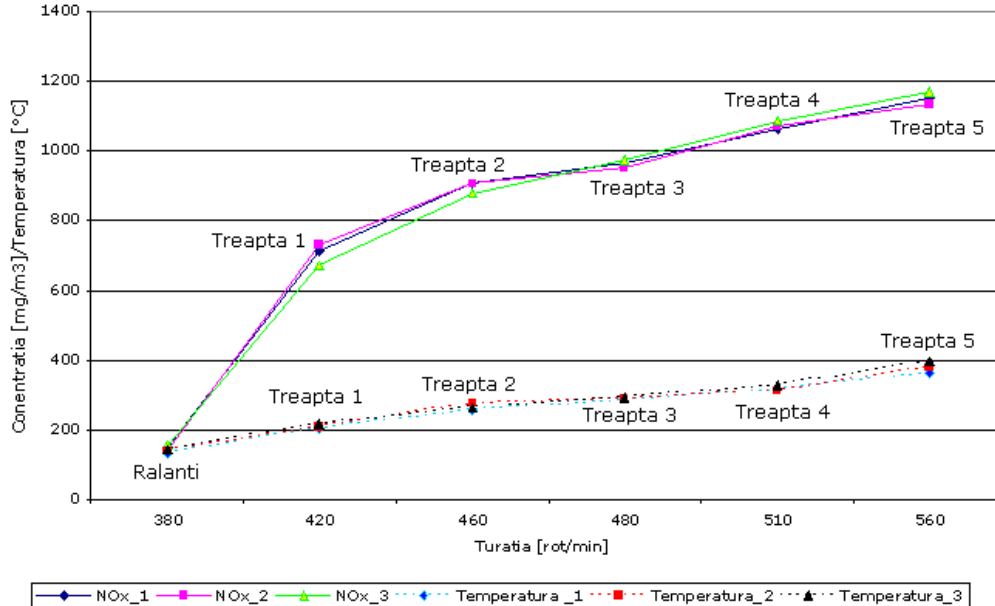


Figura 5.11 Variația concentrației și temperaturii pe cele cinci trepte de încărcare

Nivelul emisiilor rezultate în urma variației turației cresc. Variația emisiilor de NO_x (NO_x = NO + NO₂) prezintă o rată de creștere foarte accentuată la treapta 1 de încărcare. Rata de creștere a emisiilor de NO_x este datorată creșterii încărcării, lucru ce duce la funcționarea motorului cu amestec sărac ($\lambda > 1,05-1,2$). Astfel se produce o cantitate semnificativ mai mare de oxizi de azot, fapt datorat creșterii turației și a temperaturii în camera de ardere, condiții favorabile apariției oxizilor de azot.

Pentru treapta a 2-a se constată o creștere mai moderată comparativ cu variația emisiilor de la prima treaptă. La funcționarea pe intervalul corespunzător treptelor 3-5, concentrația emisiilor crește cu o rată mai mică până la un maxim de 1169 [mg/m³].

De asemenea o dată cu creșterea turației și respectiv a încărcării specifice treptelor 1-5 are loc și creșterea temperaturii gazelor de evacuare datorită creșterii temperaturii la care are loc arderea și creșterii consumului de combustibil.

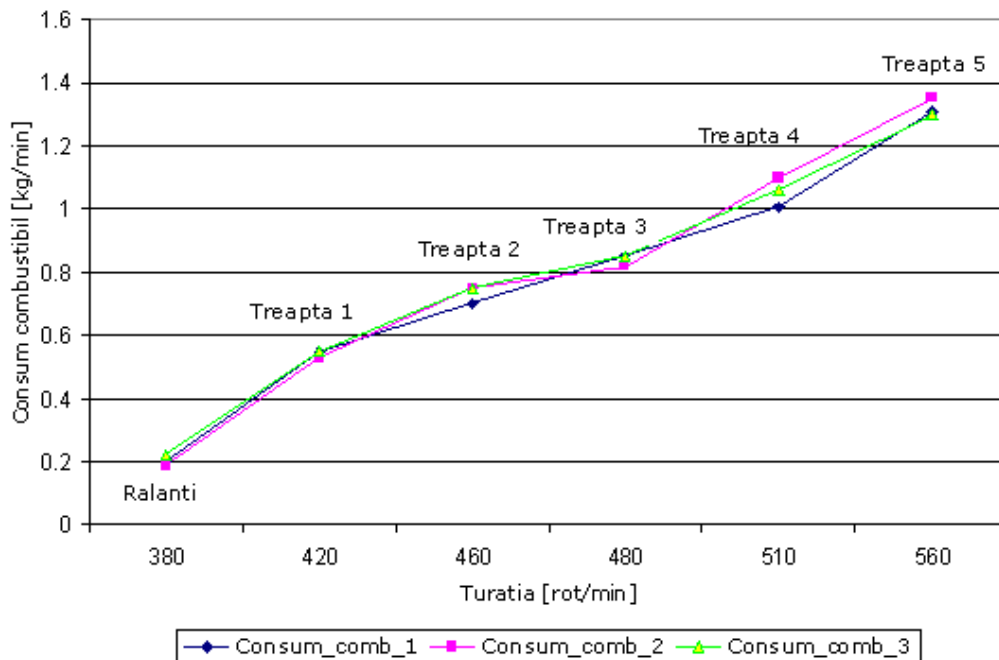


Figura 5.12. Variația consumului de combustibil

În figura 5.12 este prezentată variația consumului de combustibil în funcție de turație și treptele de încărcare ale locomotivei LDH 125. Conform diagramei se observă faptul că o dată cu creșterea turației și respectiv a încărcării specifice treptelor 1-5 are loc creșterea consumului specific de combustibil.

5.2.1 Măsurători în regim static efectuate pe locomotiva LDH 125 modernizată (Caterpillar)

Măsurătorile în regim static la locomotiva LDH 125 modernizată au constat, de asemenea, în montarea echipamentului de măsură pe locomotivă după care aceasta a fost asigurată împotriva plecării prin frânarea locomotivei cu mijloacele proprii și aplicarea a 5 trepte de încărcare și măsurarea emisiilor pe fiecare treaptă de încărcare, măsurători repetate de trei ori (figura 4.33. b)). În urma măsurătorilor efectuate s-a trasat grafic variația concentrației de NO_x respectiv variația temperaturii la diferitele trepte de încărcare.

Variația concentrației emisiilor de NO_x prezintă o creștere foarte bruscă de la poziția de mers în gol la treapta 1. Între treptele 1 și 2 concentrația crește foarte puțin după care până la treapta 5 concentrația descrește până la valoarea de 1322 $[\text{mg}/\text{m}^3]$. Tendința de descreștere a concentrației se justifică prin faptul că de la turații mai mari de 1000 $[\text{rot}/\text{min}]$ sistemul turbo al motorului intră în acțiune fapt ce crește presiunea aerului de admisie, inițial cu presiuni mici de 0,1-0,2 bar dar care cresc, ca de exemplu la turația de 1340 $[\text{rot}/\text{min}]$ presiunea ajungând la valori de 0,8-1 bar. Creșterea presiunii aerului de admisie are ca efect introducerea în camera de ardere a unei cantități mai mare de aer rezultând o ardere mai completă.

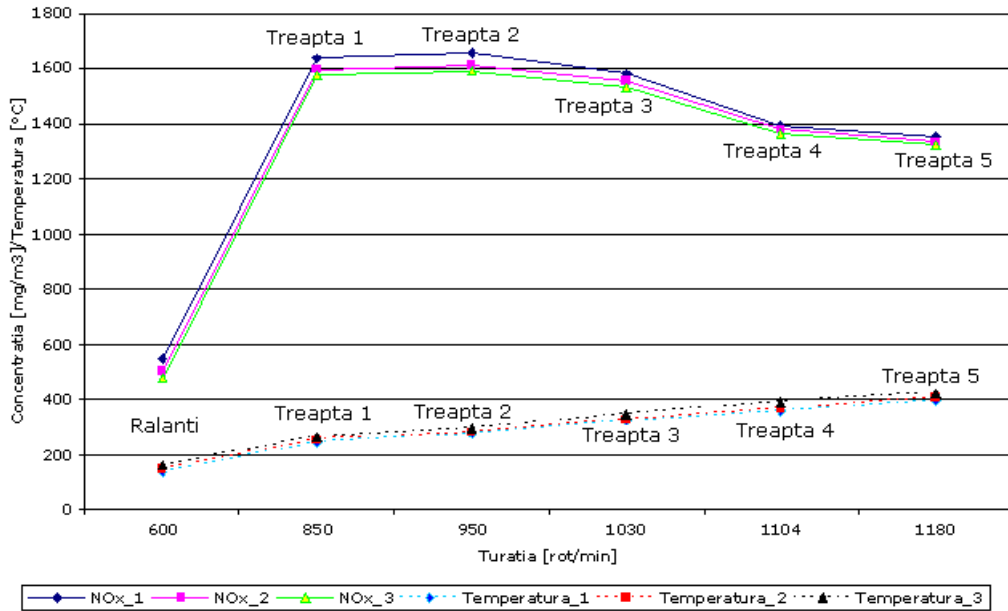


Figura 5.13. Variația concentrației și temperaturii pe cele cinci trepte de încărcare

Datorită re tehnologizării acestui tip de locomotivă, o parte din parametrii au putut fi urmăriți pe monitorul calculatorului de bord al locomotivei. Dintre aceștia cei mai importanți fiind consum de combustibil și sarcina motorului diesel exprimată în procente și prezentați în figura 5.14.

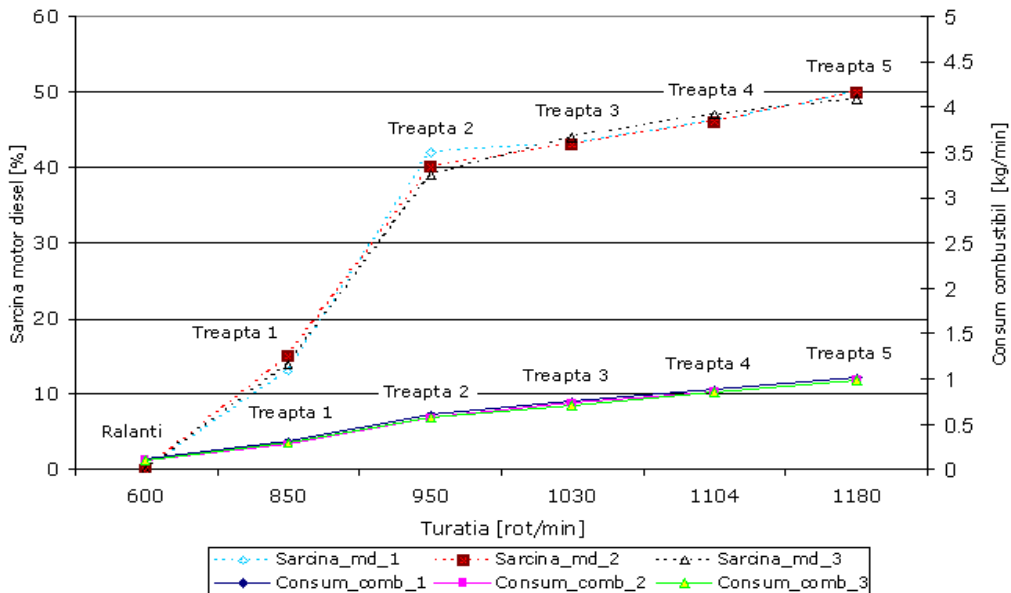


Figura 5.14. Variația sarcinii motorului și a consumul de combustibil

Sarcina motorului și consumul de combustibil prezintă creșteri pronunțate de la mersul în gol până în treapta 2, creșterea fiind datorată saltului de turație cu 350 [rot/min], de la turația de mers în gol a motorului până pe treapta 2. Din acest punct variația acestora prezintă tendințe constante de creștere lentă, pașii de turație dintre treptele de încărcare fiind mai mici.

5.2.3. Măsurători în regim dinamic, pe diferite secții de circulație, la locomotiva diesel hidraulică LDH 125 modernizată Caterpillar

Măsurătorile au fost efectuate pe două secții de circulație din cadrul Regionalei de Căi Ferate Banat-Oltenia și anume:

- Lugoj – Făget – Ilia – Simeria
- Lugoj – Buziaș – Timișoara Nord,

pe două perechi de trenuri curse de persoane: 2182/2185 respectiv 9611/9618 de cinci ori în cinci zile diferite. Concentrațiile emisiilor de NO_x sunt prezentate în grafice pe fiecare interval de stații de pe secția de circulație menționându-se regimul de lucru al locomotivei și declivitatea medie între stații [3].

Tren: 2182

Secția de remorcare: 212 Lugoj - Făget – Ilia – Simeria

Tonaj remorcat: 96 tone

Intervalul de stații: 1. Lugoj – Lugoj Nord

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 2 ‰

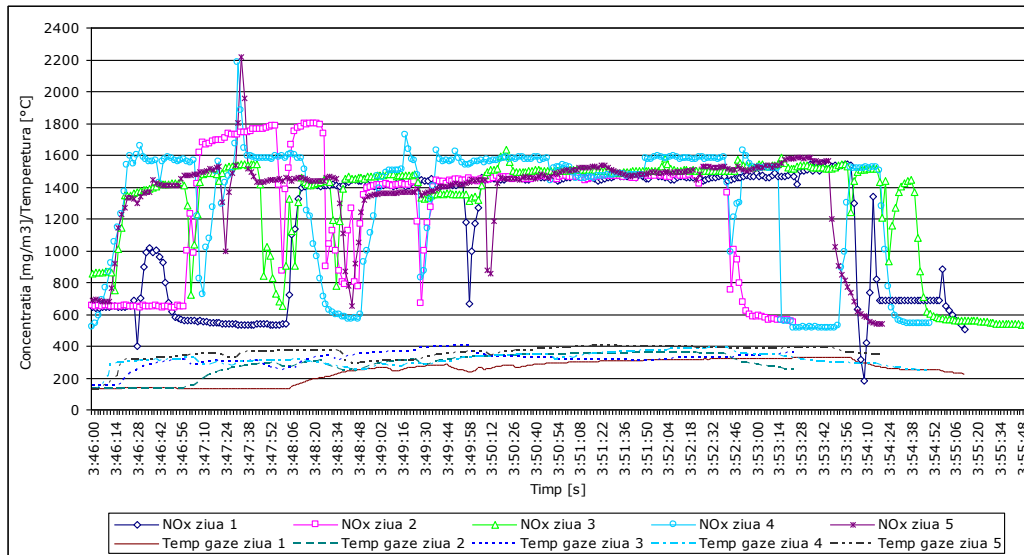


Figura 5.15. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Lugoj Nord

Intervalul de stații: 2. Lugoj Nord – Coșteiul Mare

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 0 ‰

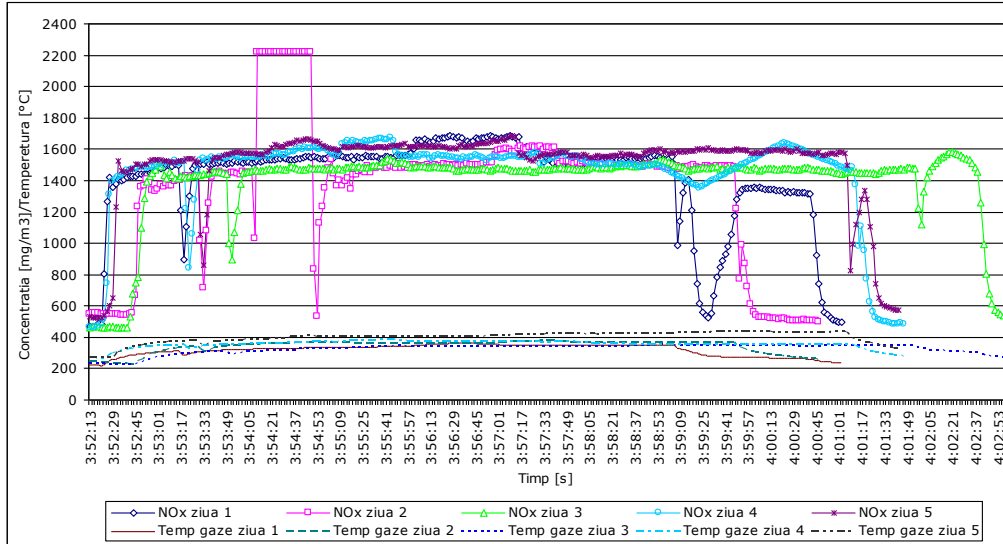


Figura 5.16. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj N-Coșteiul Mare

Intervalul de stații: 3. Coșteiul Mare - Păru

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 7 ‰

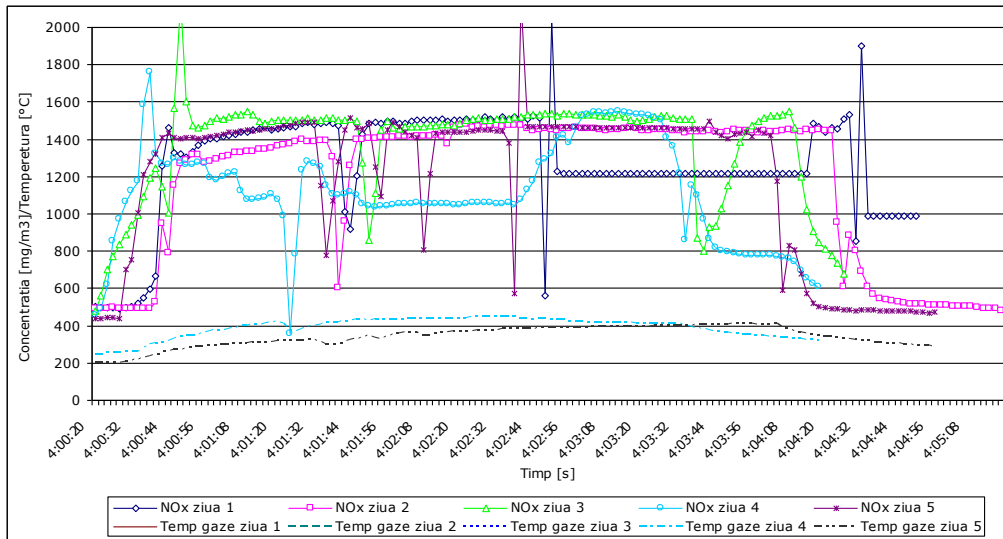


Figura 5.17. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiul Mare-Păru

Intervalul de stații: 4. Păru - Balinț
 Regimul de lucru: Ușor
 Declivitatea: -8 ‰

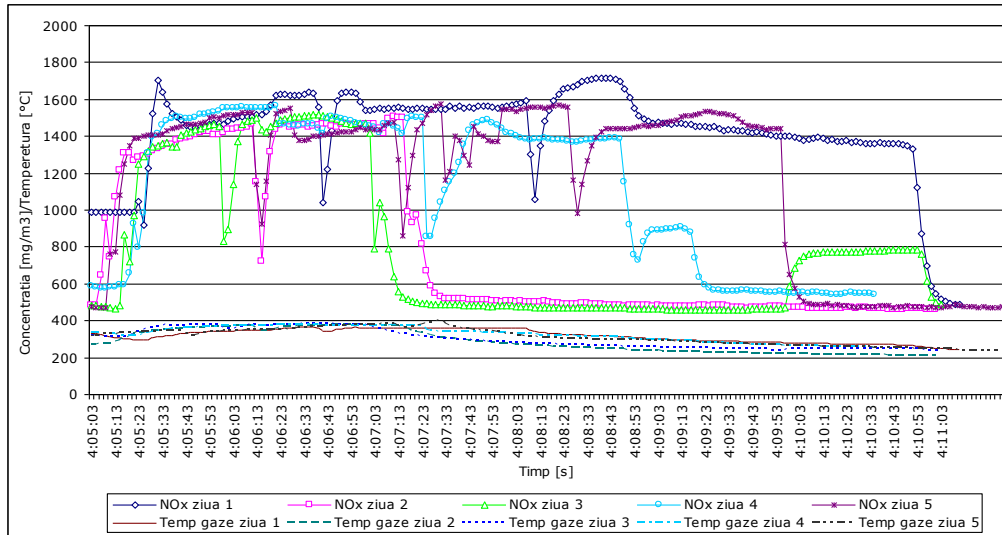


Figura 5.18. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Păru-Balinț

Intervalul de stații: 5. Balinț - Nevrincea
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 0 ‰

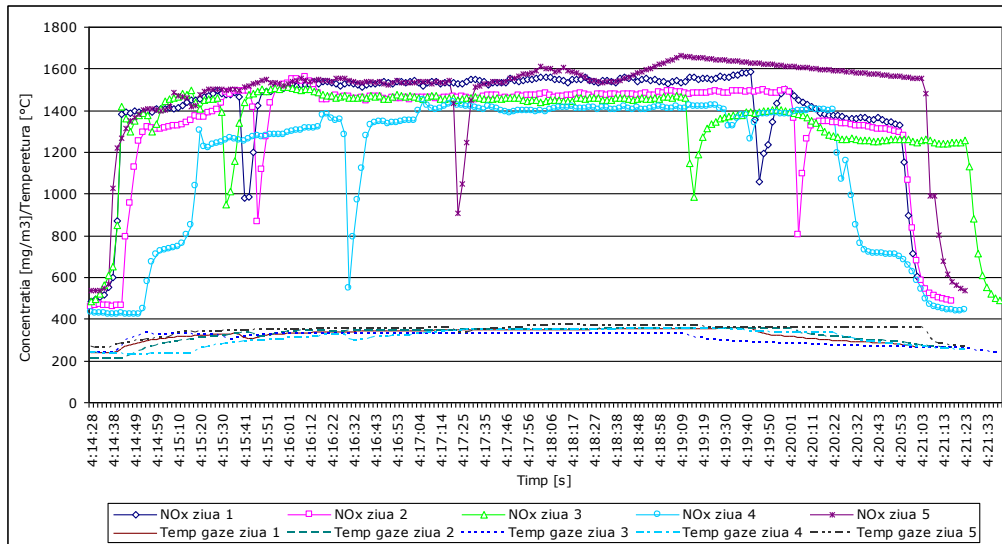


Figura 5.19. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Balinț-Nevrincea

Intervalul de stații: 6. Nevrincea - Cliciova

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 0 ‰

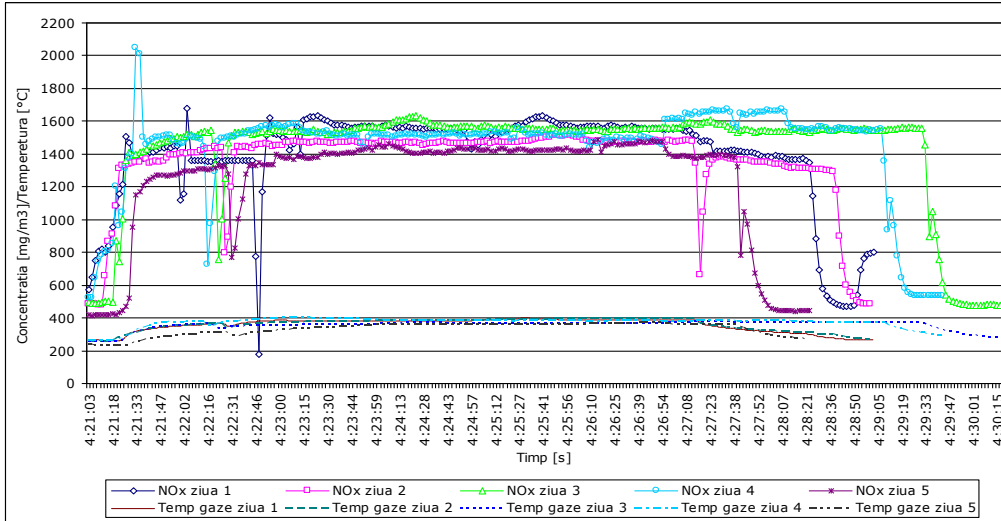


Figura 5.20. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nevrincea-Cliciova

Intervalul de stații: 7. Cliciova – Susani Bega

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 2 ‰

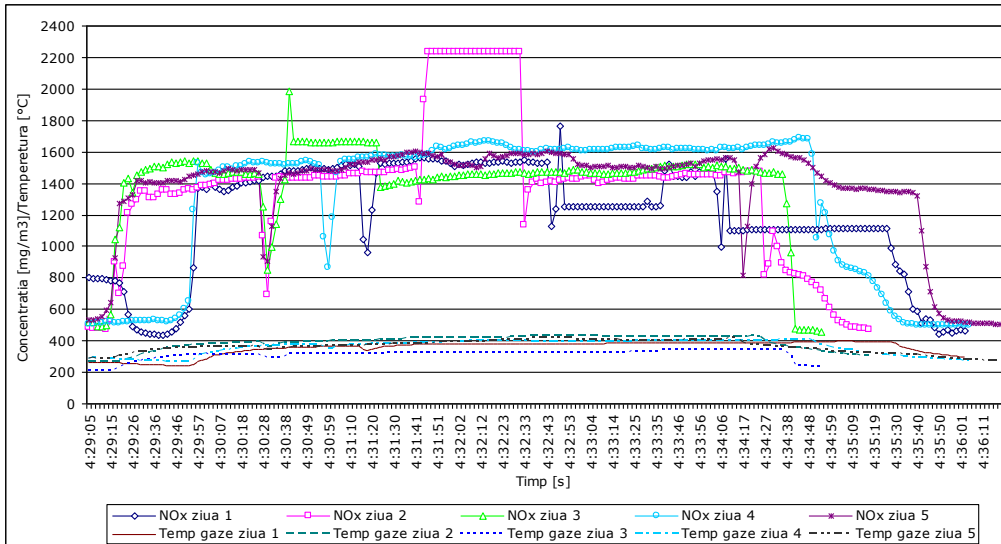


Figura 5.21. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Cliciova-Susani Bega

Intervalul de stații: 8. Susani Bega – Traian Vuia

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 0 ‰

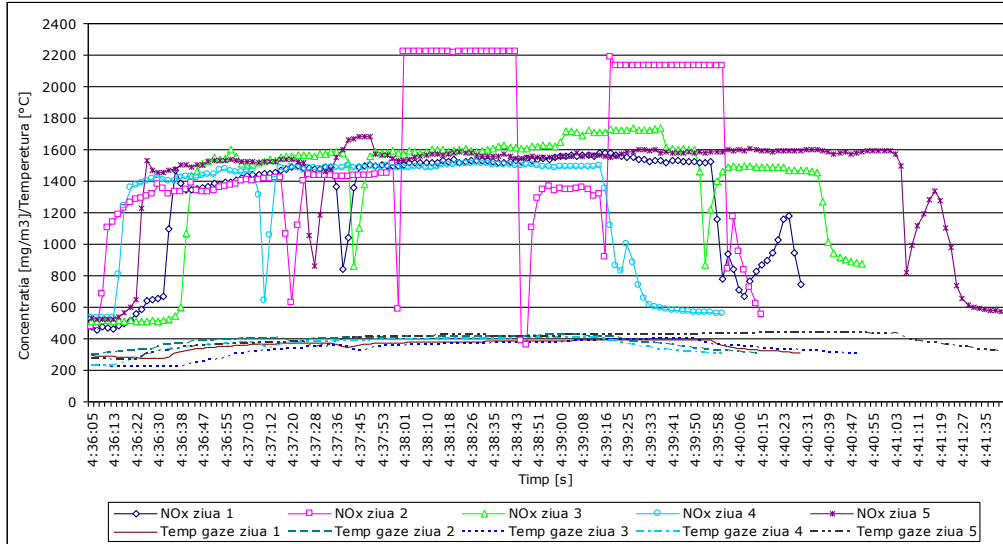


Figura 5.22. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Susani Bega-Traian Vuia

Intervalul de stații: 9. Traian Vuia - Mănăștur

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 2 ‰

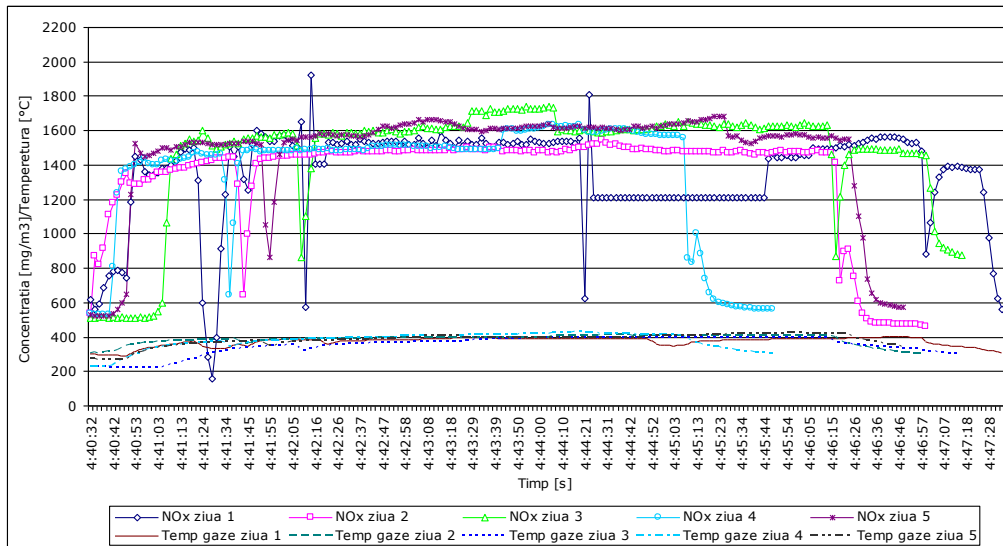


Figura 5.23. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Traian Vuia-Mănăștur

Intervalul de stații: 10. Mănăștur - Răchita

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 3 ‰

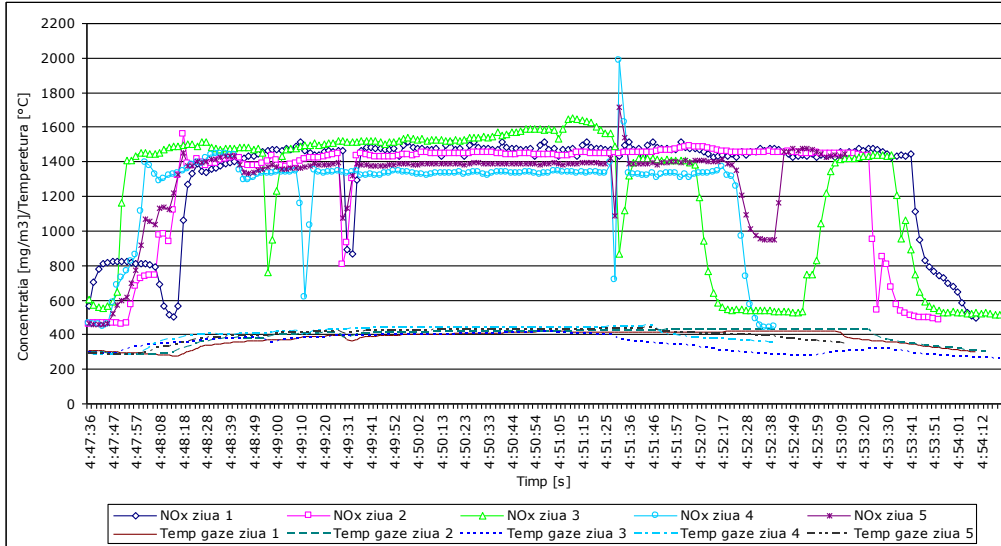


Figura 5.24. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mănăștur-Răchita

Intervalul de stații: 11. Răchita - Făget
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 4 ‰

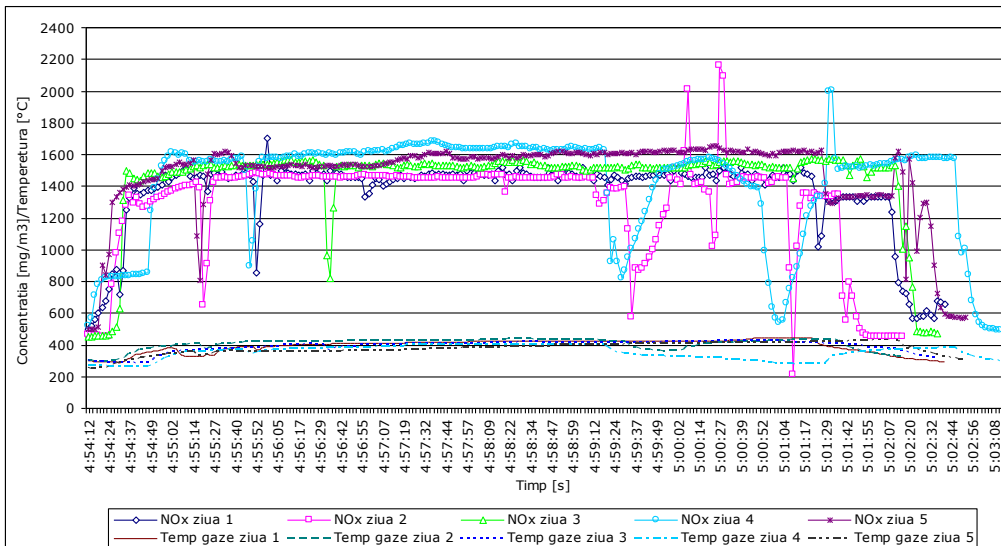


Figura 5.25. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Răchita-Făget
Intervalul de stații: 12. Făget - Margina

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 5 ‰

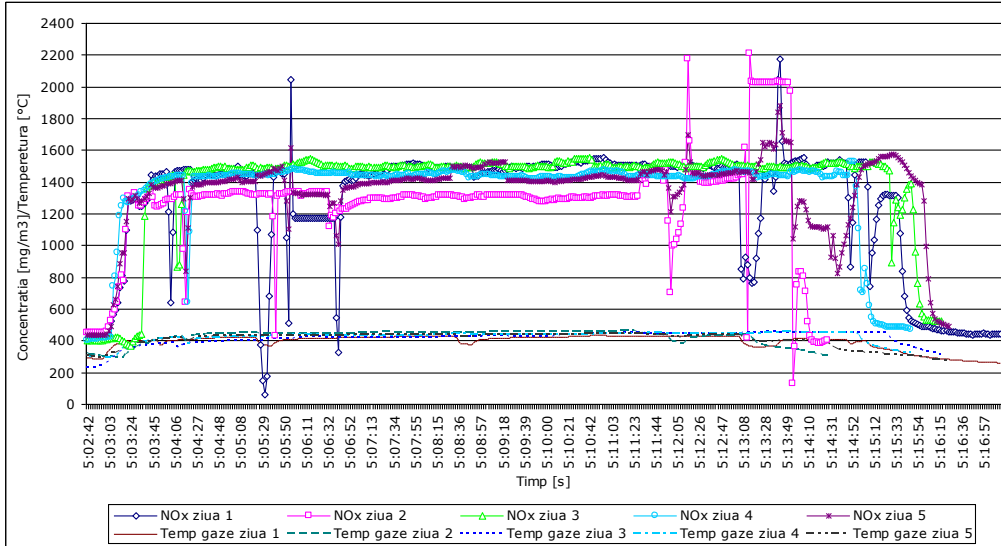


Figura 5.26. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Făget-Margina

Intervalul de stații: 13. Margina – Nemeșești
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 5 ‰

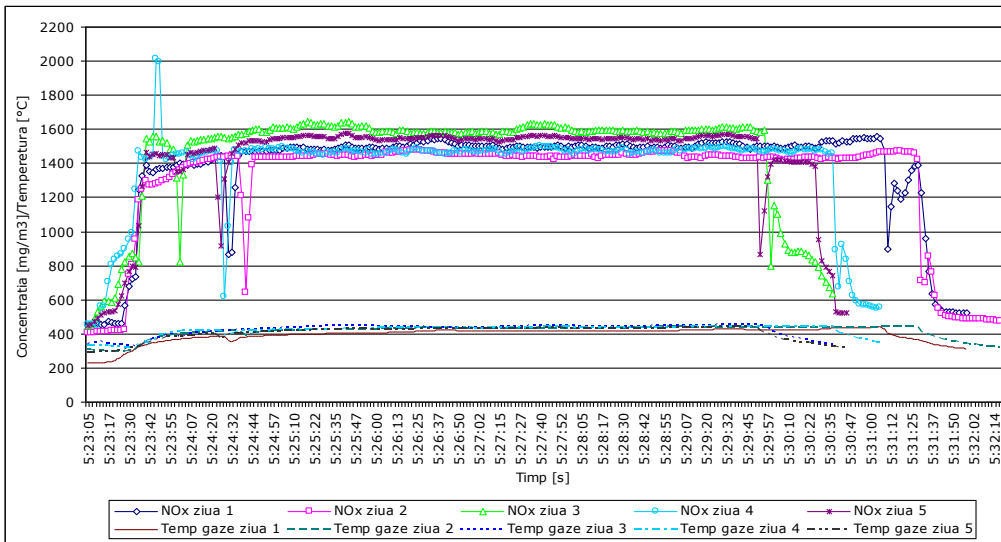


Figura 5.27. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Margina-Nemeșești

Intervalul de stații: 14. Nemeșești – Coșteiu de Sus

Regimul de lucru: greu
Declivitatea: 10 ‰

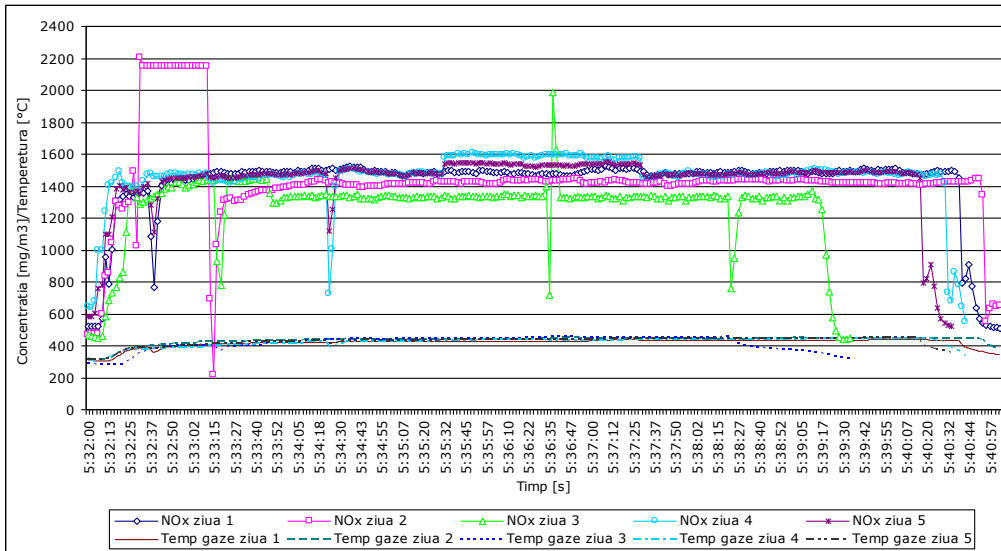


Figura 5.28. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nemeșești-Coșteiu de Sus

Intervalul de stații: 15. Coșteiu de Sus - Coșteiu
Regimul de lucru: greu
Declivitatea: 10 ‰

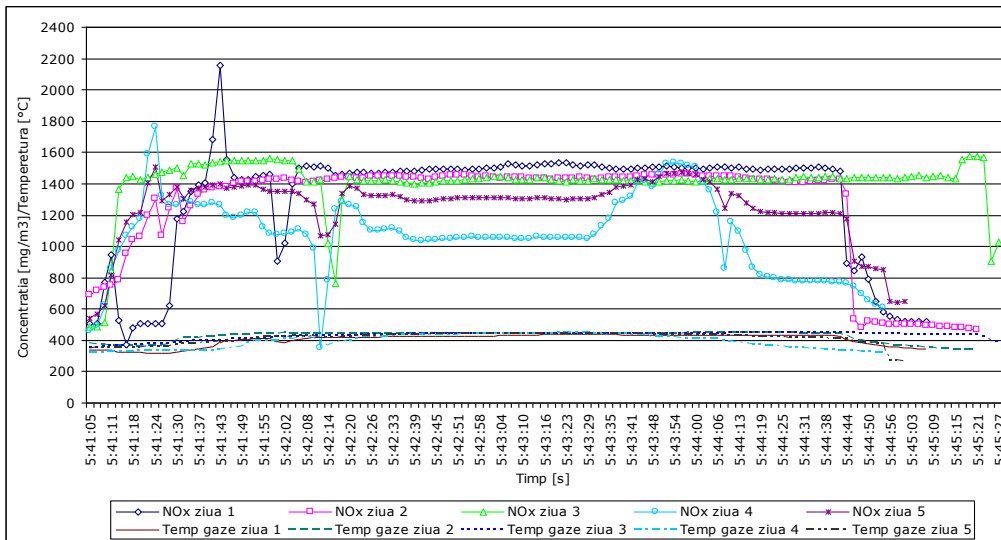


Figura 5.29. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu de Sus-Coșteiu

Intervalul de stații: 16. Coșteiu - Holdea

Regimul de lucru: greu
Declivitatea: 10 ‰

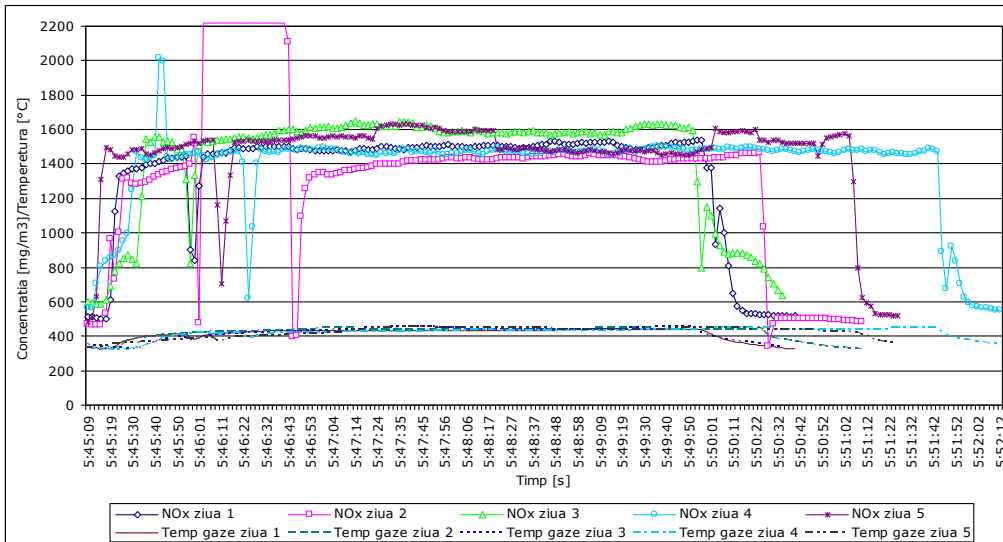


Figura 5.30. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu-Holdea

Intervalul de stații: 17. Holdea - Ohaba
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: - 10 ‰

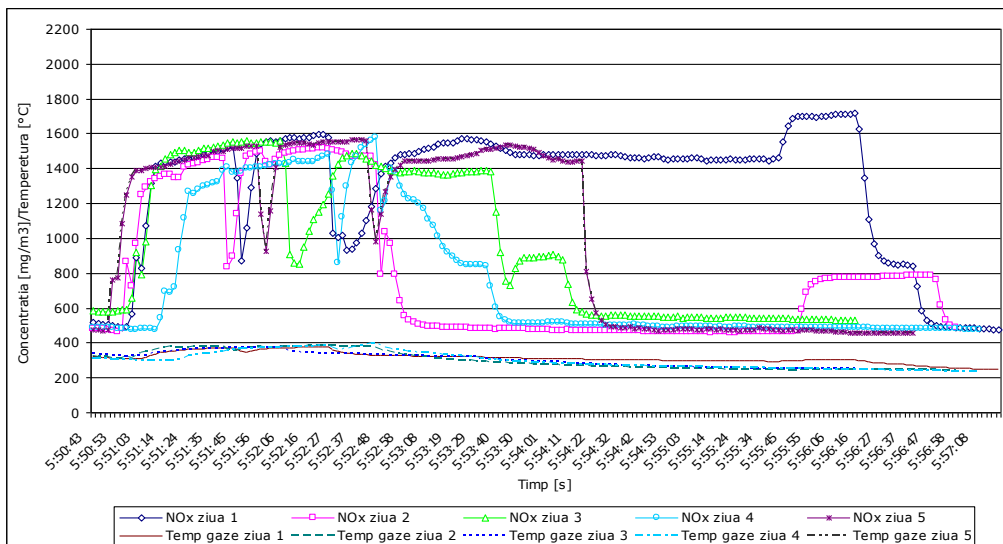


Figura 5.31. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Holdea-Ohaba

Intervalul de stații: 18. Ohaba - Lăpușiu

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: -10 ‰

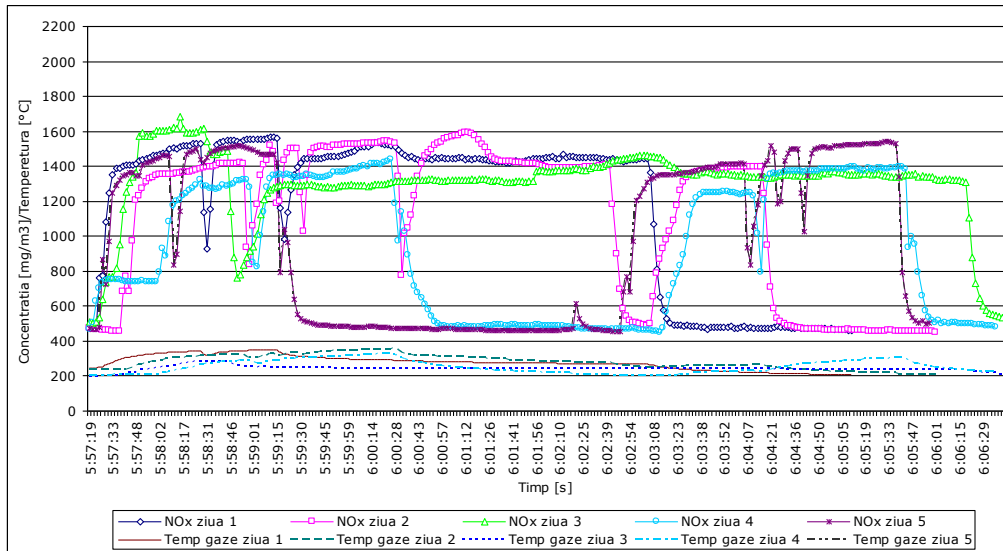


Figura 5.32. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ohaba-Lăpușiu

Intervalul de stații: 19. Lăpușiu – Canton trecere nivel cu calea ferată
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: - 10 ‰

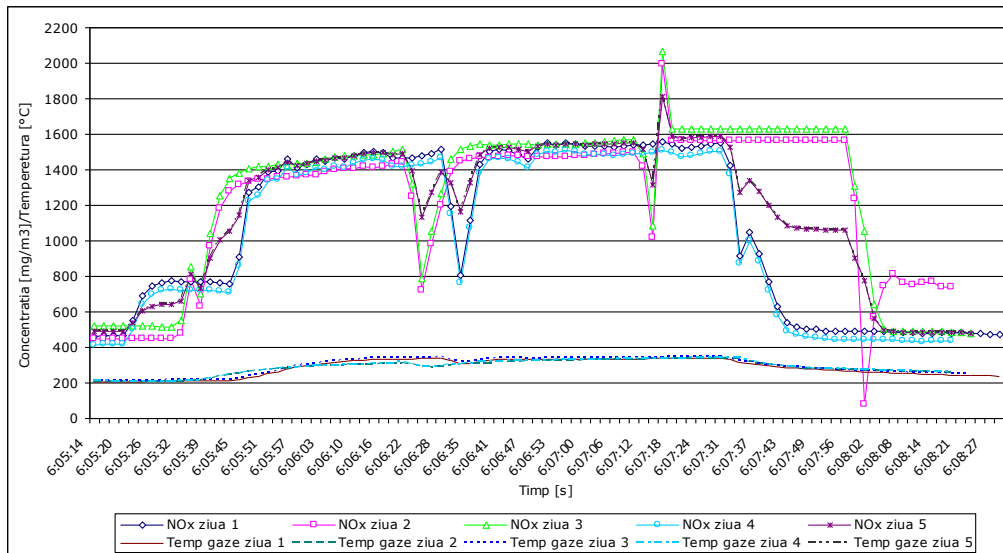


Figura 5.33. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lăpușiu-Canton trecere nivel CF
Intervalul de stații: 20. Canton pasaj - Dobra

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: - 9 ‰

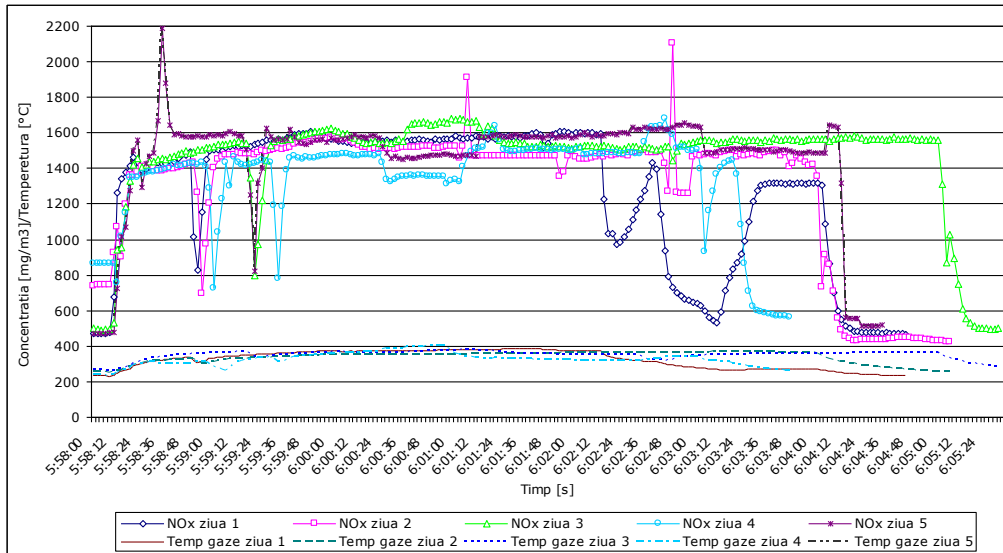


Figura 5.34. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Canton trecere nivel CF - Dobra

Intervalul de stații: 21. Dobra - Ilia
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 2 ‰

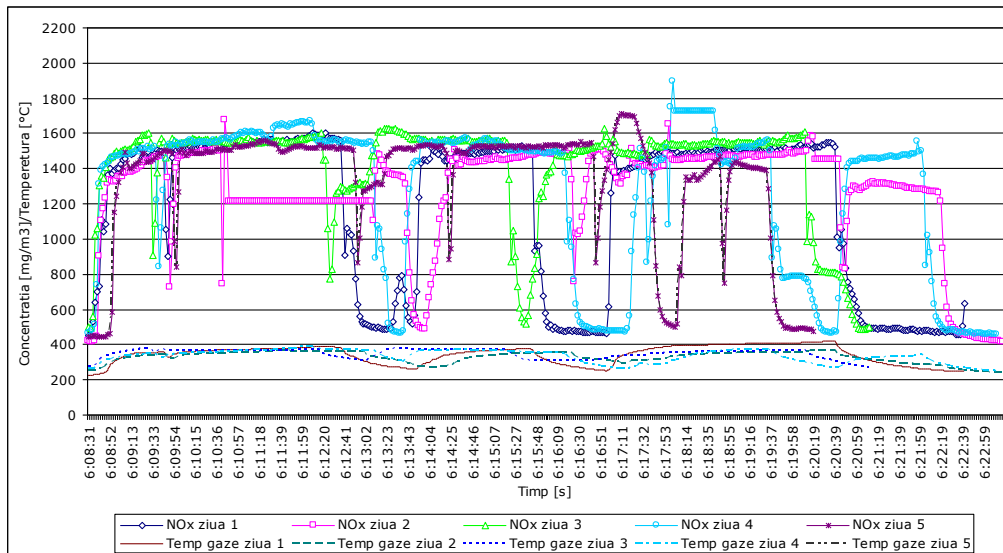


Figura 5.35. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Dobra-Ilia
Intervalul de stații: 22. Ilia – Bretea Mureșană

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: - 1 ‰

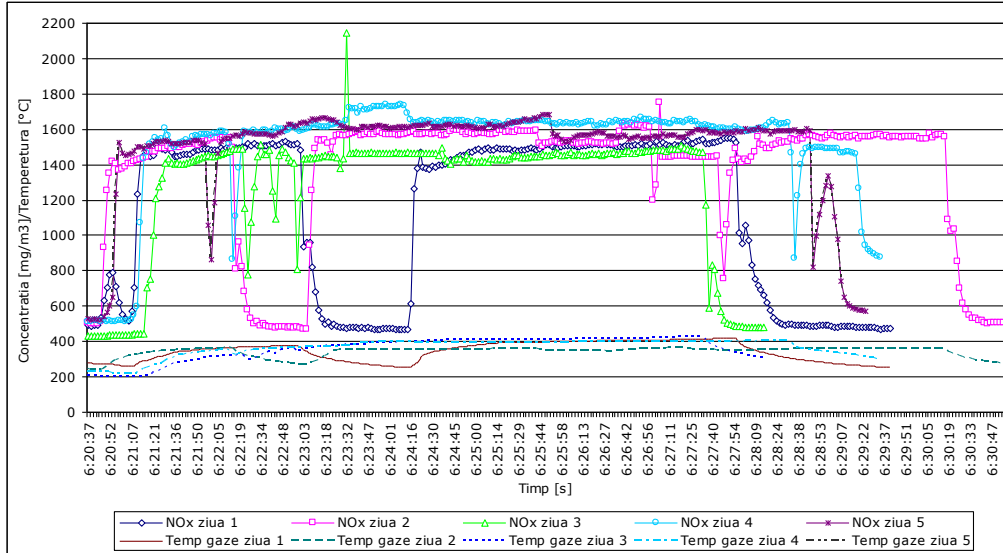


Figura 5.36. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ilia-Breteia Mureșană

Intervalul de stații: 23. Bretea Mureșană - Brănișca
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 2 ‰

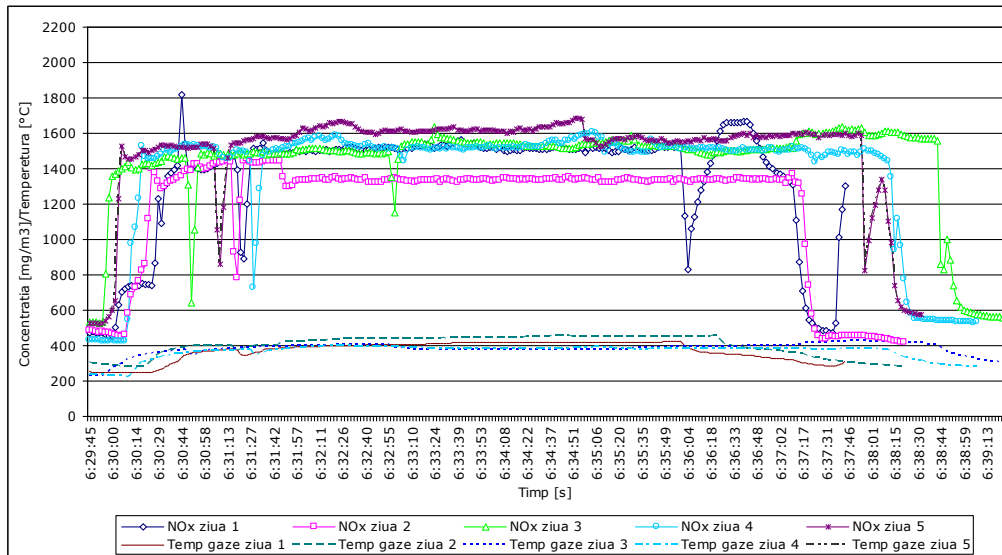


Figura 5.37. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bretea Mureșană-Brănișca
Intervalul de stații: 24. Brănișca - Vețel

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: - 2 ‰

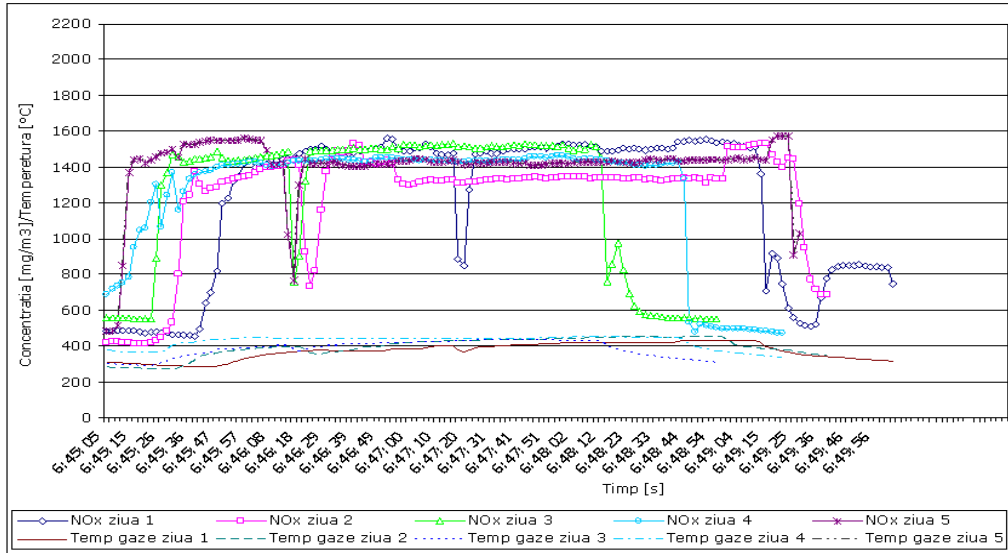


Figura 5.38. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Brănișca-Vețel

Intervalul de stații: 25. Vețel – Mintia h
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 1 ‰

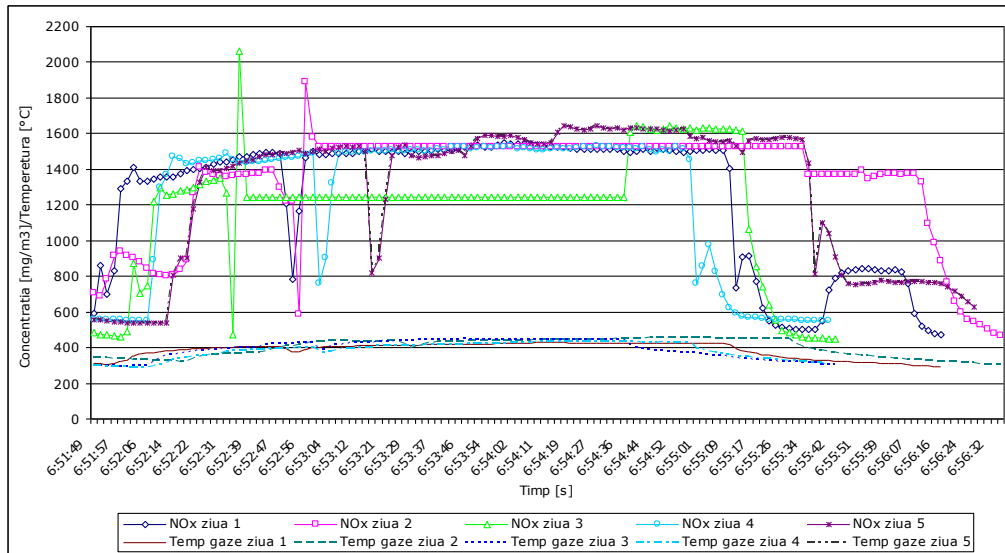


Figura 5.39. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Vețel-Mintia h
Intervalul de stații: 26. Mintia h - Mintia

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 0 ‰

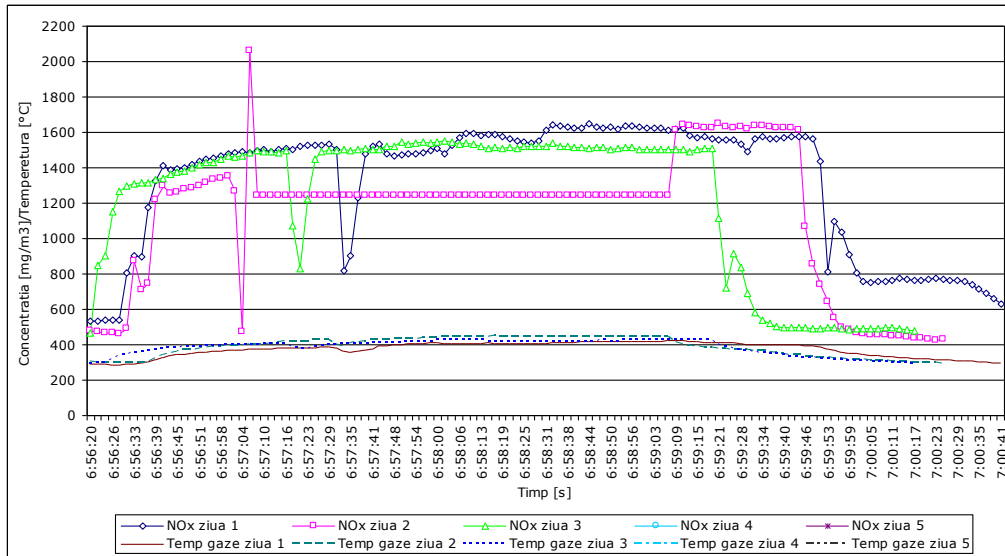


Figura 5.40. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia h-Mintia

Intervalul de stații: 27. Mintia - Deva
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 2 ‰

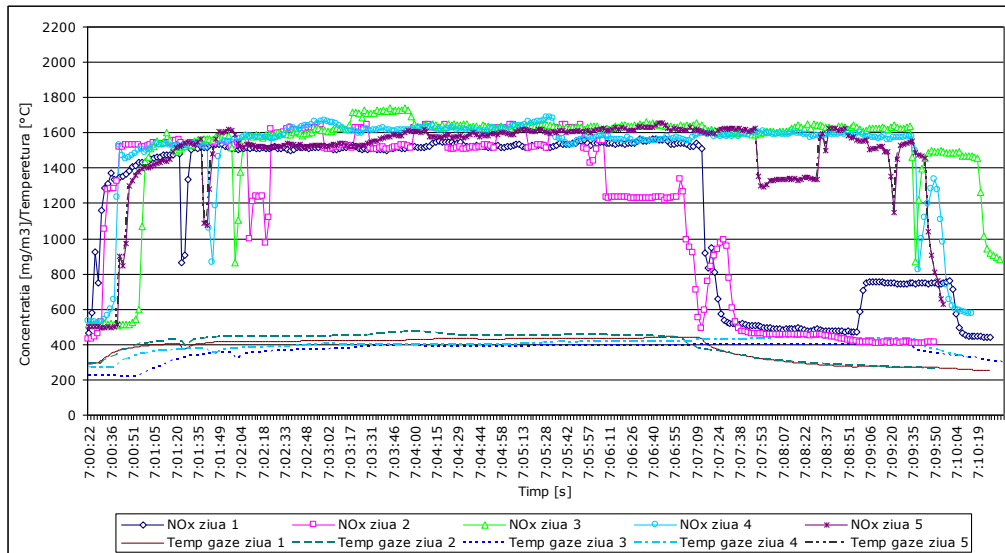


Figura 5.41. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia-Deva
Intervalul de stații: 28. Deva - Săulești

Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 1 ‰

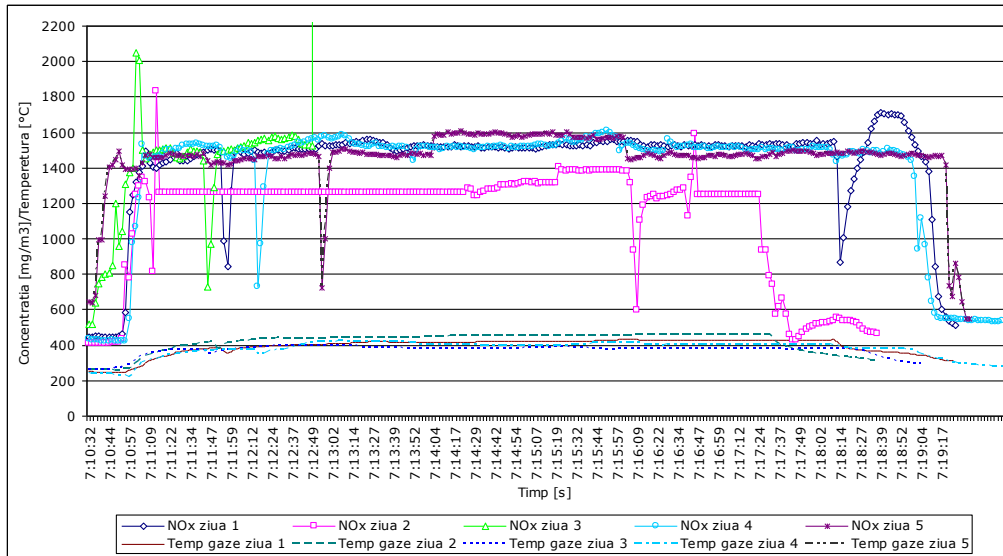


Figura 5.42. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Deva-Săulești

Intervalul de stații: 29. Săulești - Simeria
Regimul de lucru: ușor
Declivitatea: 0 ‰

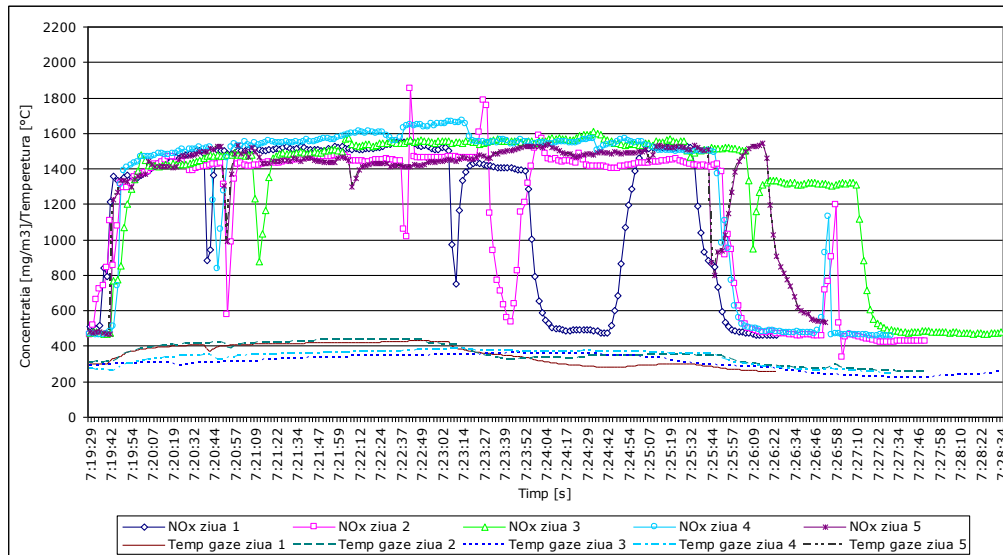


Figura 5.43. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Săulești-Simeria
Tren: 2185

Secția de remorcare: 212 Simeria – Ilia – Făget – Lugoj

Tonaj remorcat: 98 tone

Intervalul de stații: 1. Simeria – Deva

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 2 ‰

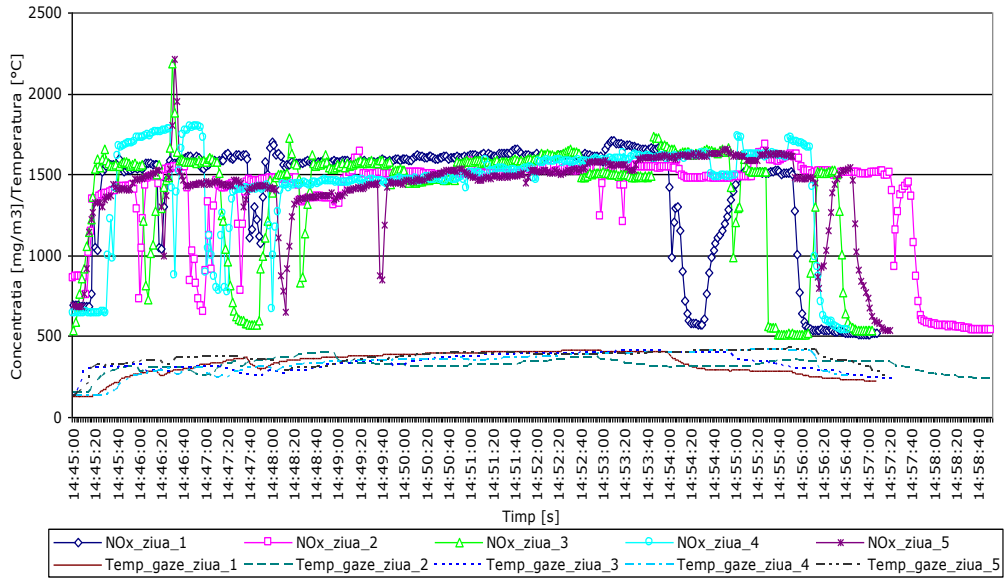


Figura 5.44. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Simeria-Deva

Intervalul de stații: 2. Deva - Mintia

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 2 ‰

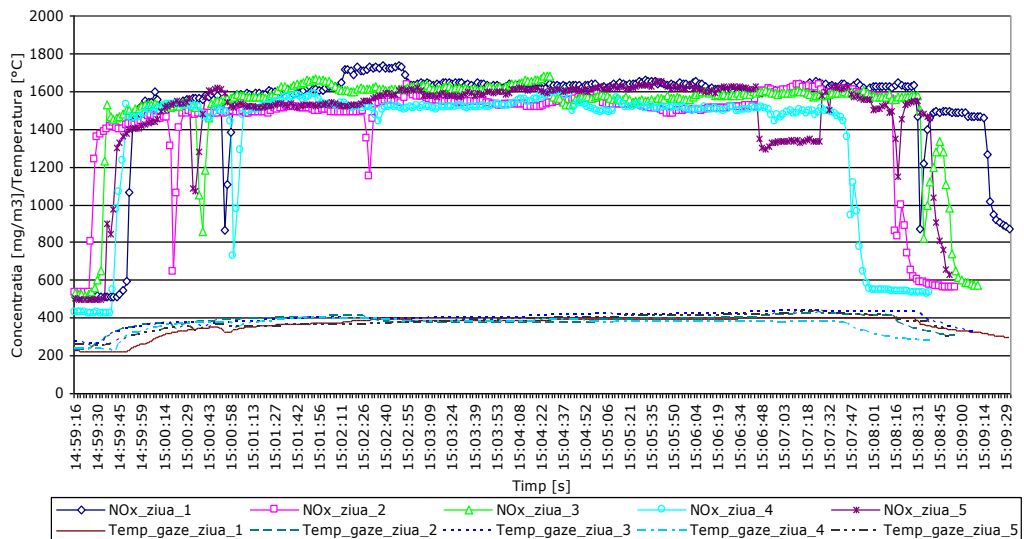


Figura 5.45. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Deva-Mintia

Intervalul de stații: 3. Mintia – Mintia h
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 1 ‰

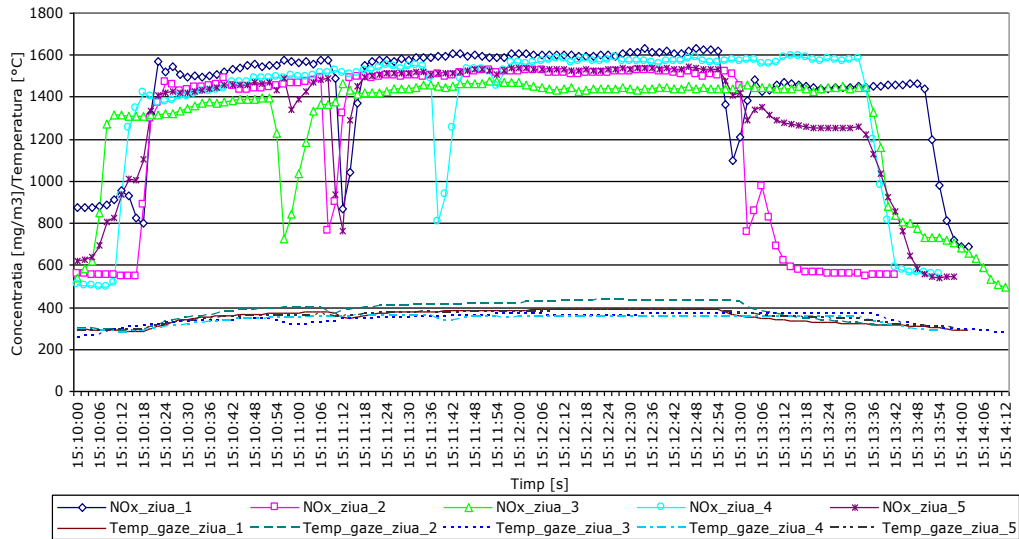


Figura 5.46. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia-Mintia h

Intervalul de stații: 4. Mintia h - Veșel
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 1 ‰

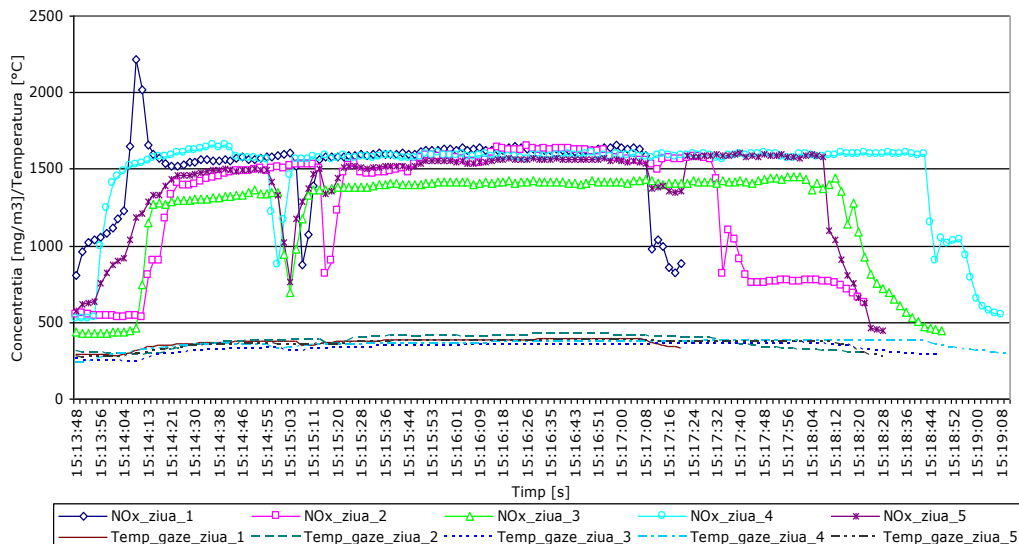


Figura 5.47. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia h-Veșel

Intervalul de stații: 5. Vețel - Brănișca
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 2 ‰

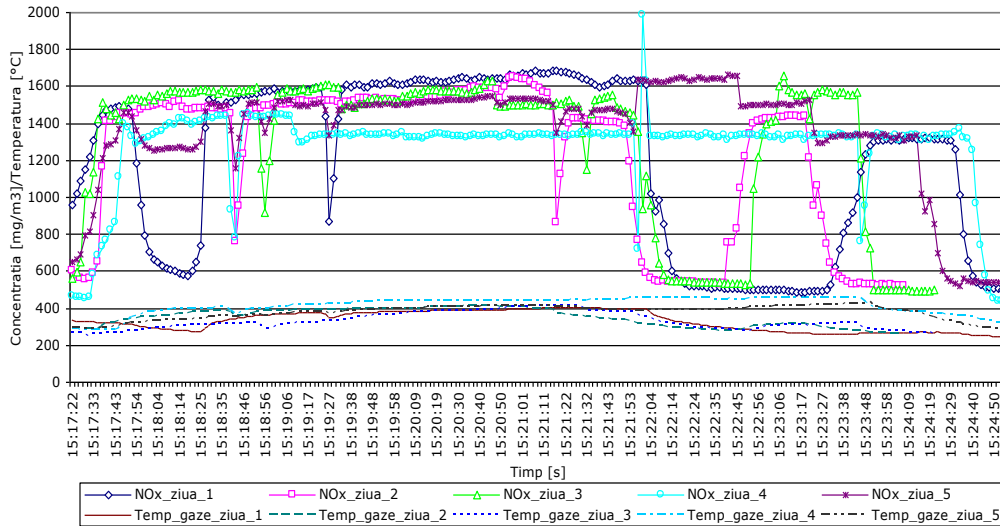


Figura 5.48. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Vețel-Brănișca

Intervalul de stații: 6. Brănișca – Bretea Mureșană
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 3 ‰

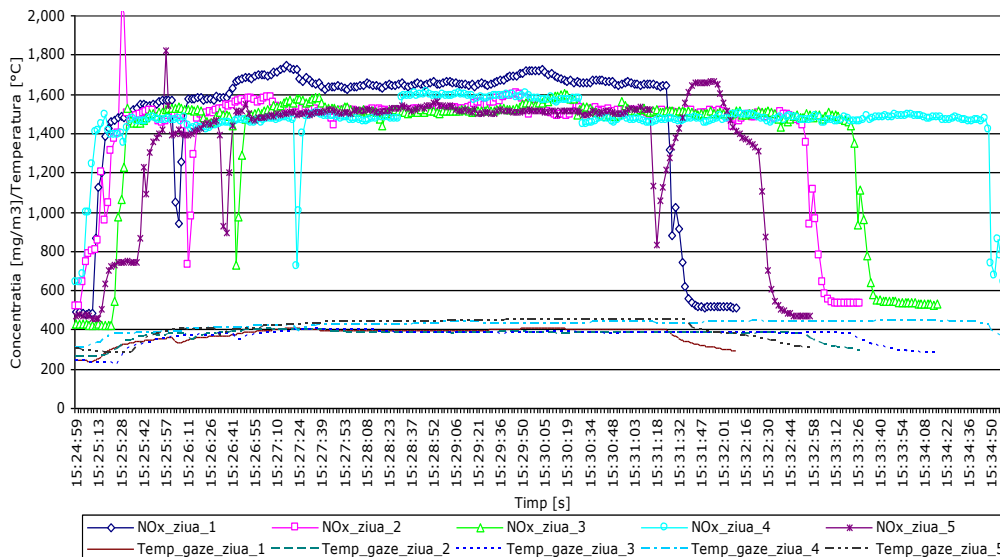


Figura 5.49. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Brănișca-Bretea Mureșană

Intervalul de stații: 7. Bretea Mureșană - Ilia

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 1 ‰

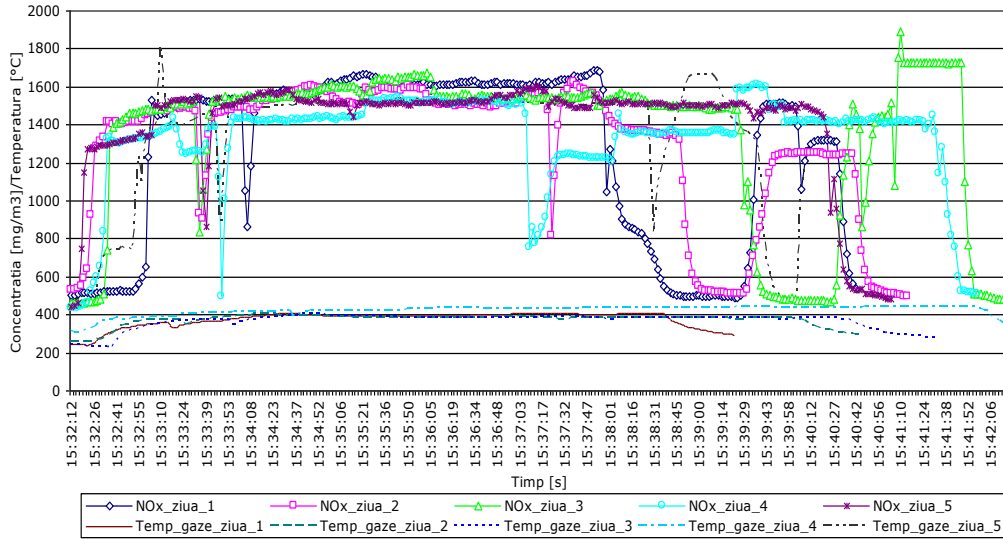


Figura 5.50. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bretea Mureșană-Ilia

Intervalul de stații: 8. Ilia - Dobra

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 2 ‰

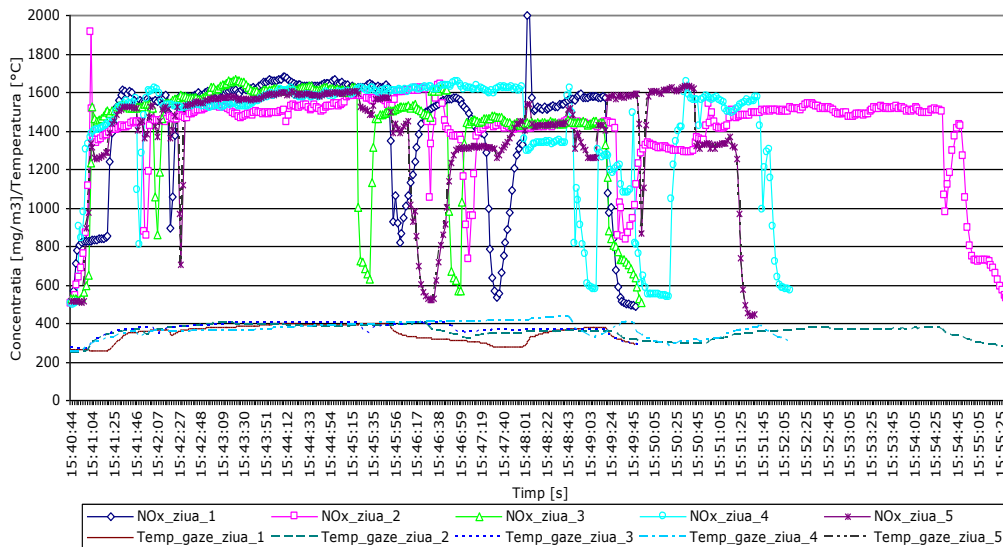


Figura 5.51. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ilia-Dobra

Intervalul de stații: 9. Dobra – Canton trecere nivel cu calea ferată
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 8 ‰

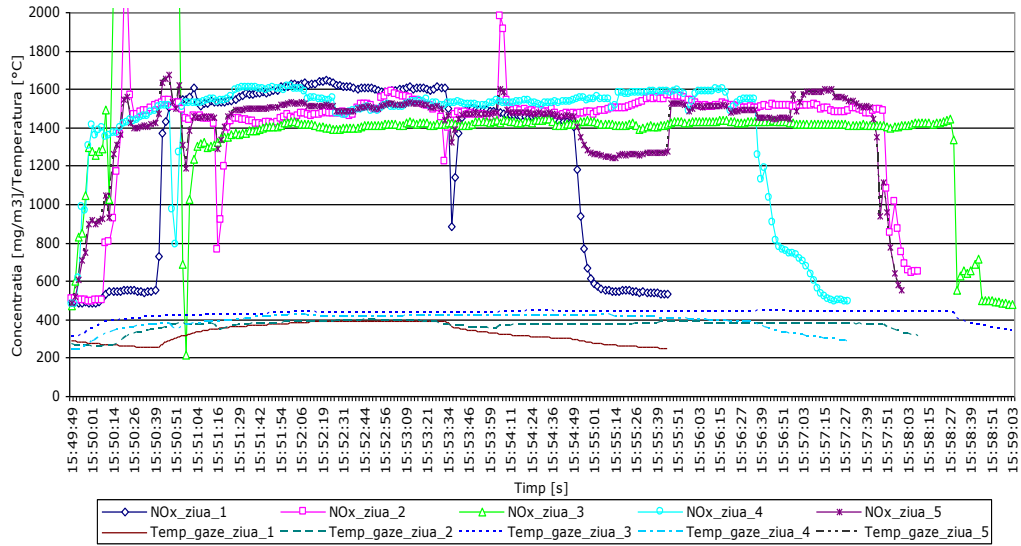


Figura 5.52. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Dobra-Canton trecere nivel CF

Intervalul de stații: 10. Canton trecere nivel cu calea ferată - Lăpușiu
 Regimul de lucru: greu
 Declivitatea: 9 ‰

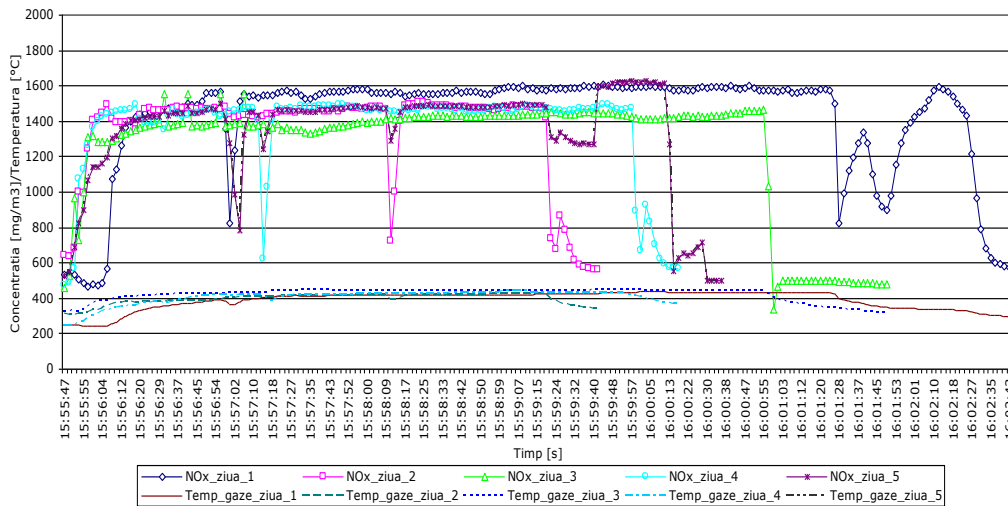


Figura 5.53. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Canton trecere nivel CF-Lăpușiu

Intervalul de stații: 11. Lăpuțiu - Ohaba
 Regimul de lucru: greu
 Declivitatea: 10 ‰

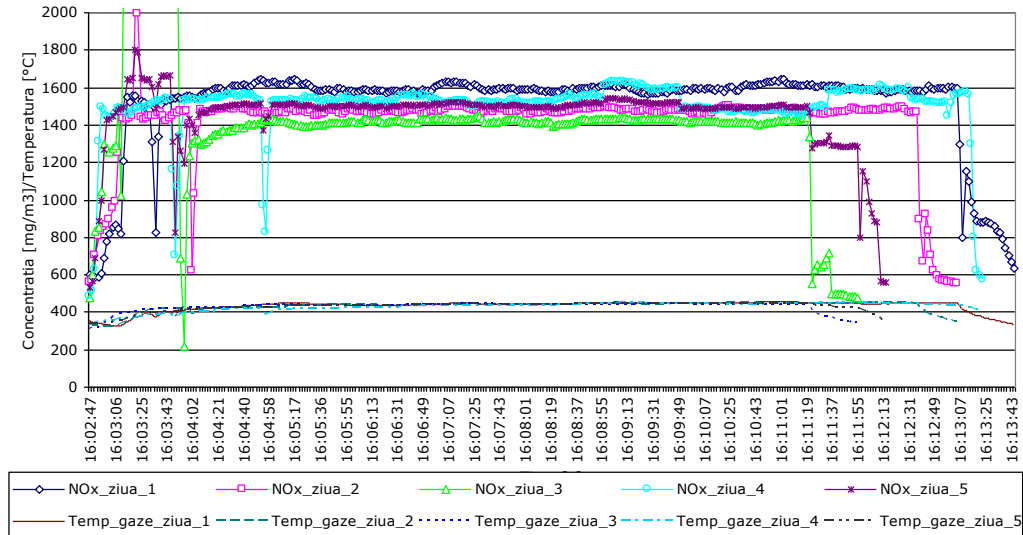


Figura 5.54. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lăpuțiu-Ohaba

Intervalul de stații: 12. Ohaba - Holdea
 Regimul de lucru: greu
 Declivitatea: 10 ‰

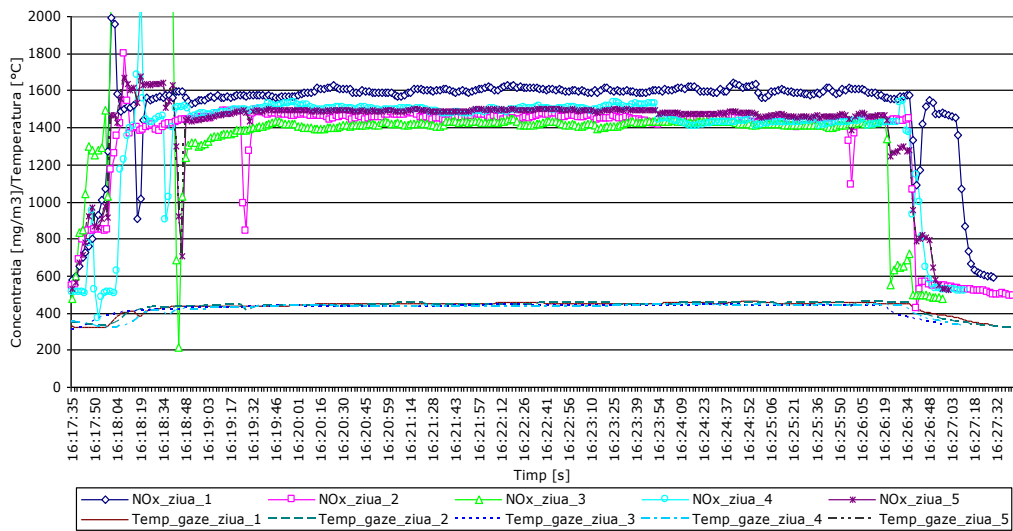


Figura 5.55. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ohaba-Holdea

Intervalul de stații: 13. Holdea - Coșteiu
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: -10 ‰

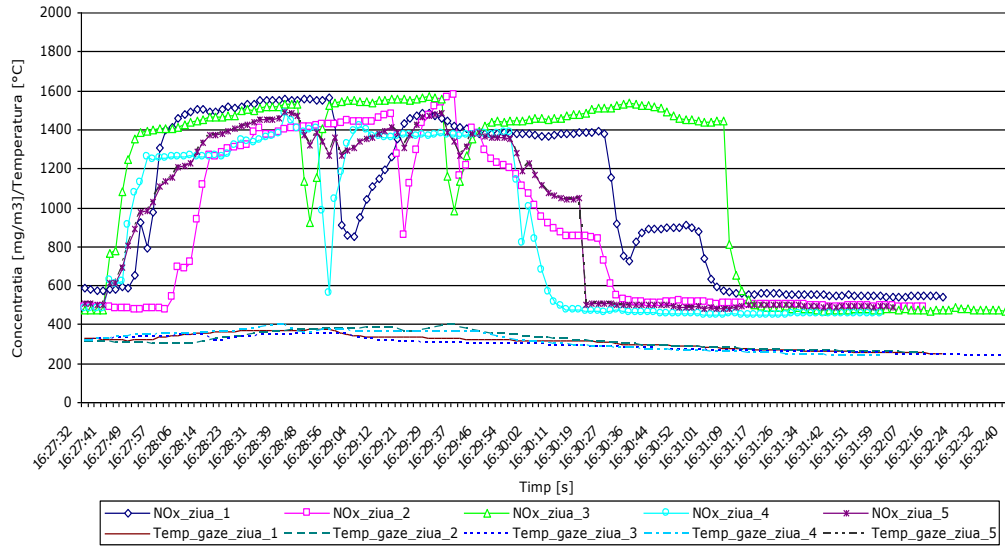


Figura 5.56. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Holdea-Coșteiu

Intervalul de stații: 14. Coșteiu – Coșteiu de Sus
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: - 10 ‰

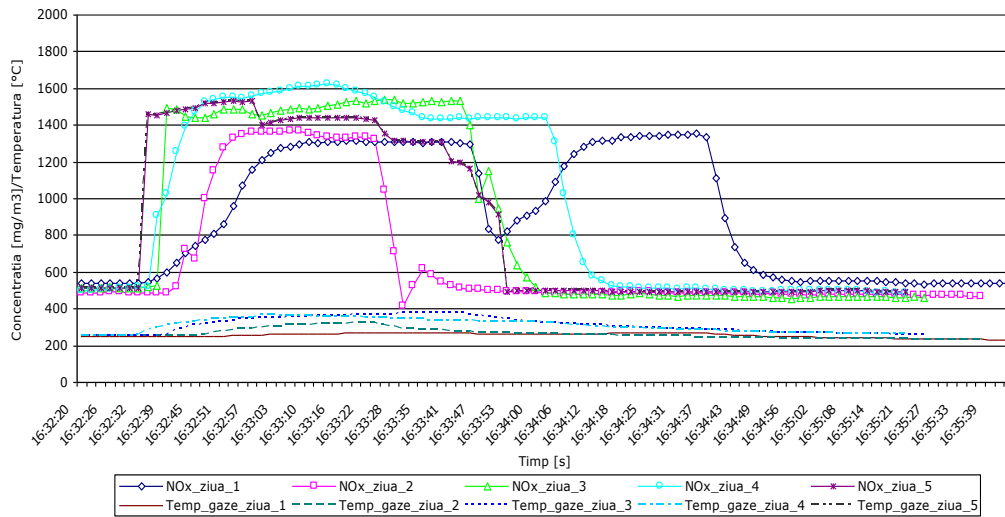


Figura 5.57. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu-Coșteiu de Sus

Intervalul de stații: 15. Coșteiu de Sus - Nemeșești
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: - 10 ‰

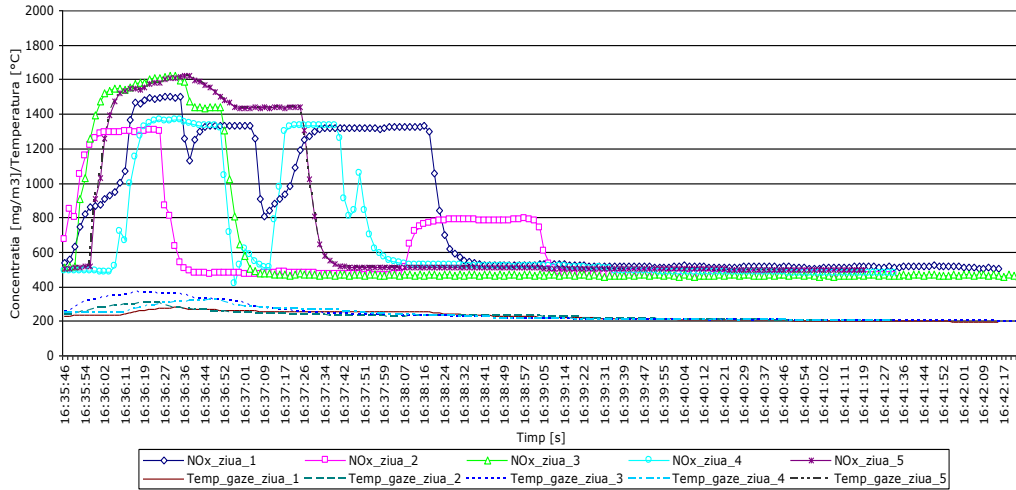


Figura 5.58. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu de Sus-Nemeșești

Intervalul de stații: 16. Nemeșești - Margina
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: - 5 ‰

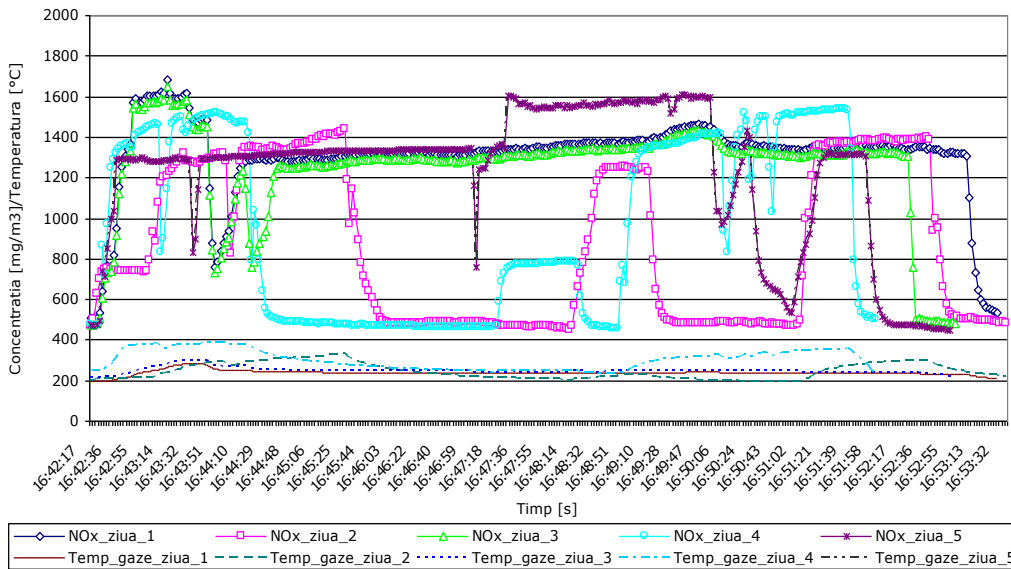


Figura 5.59. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nemeșești-Margina

Intervalul de stații: 17. Margina - Făget

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: -4 ‰

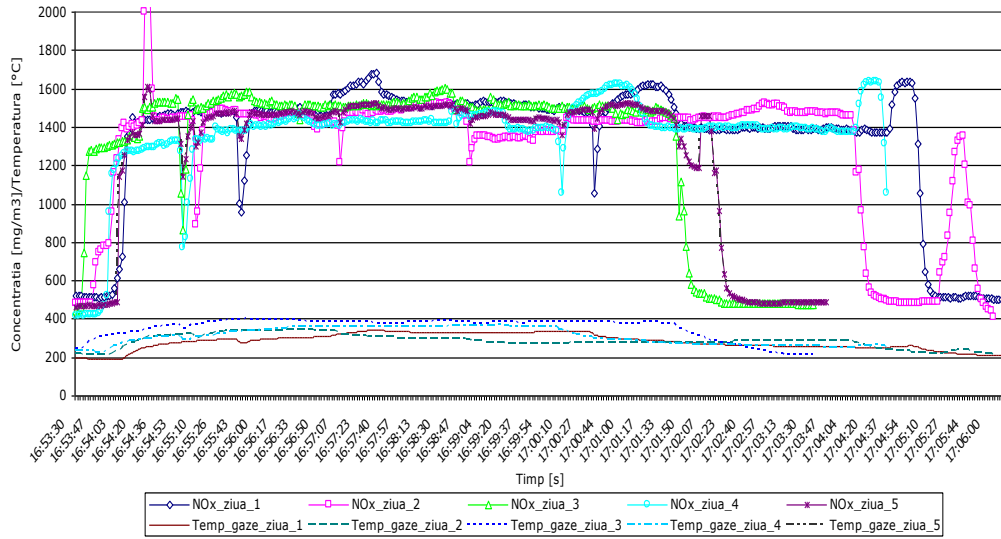


Figura 5.60. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Margina-Făget

Intervalul de stații: 18. Făget - Răchita

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 3 ‰

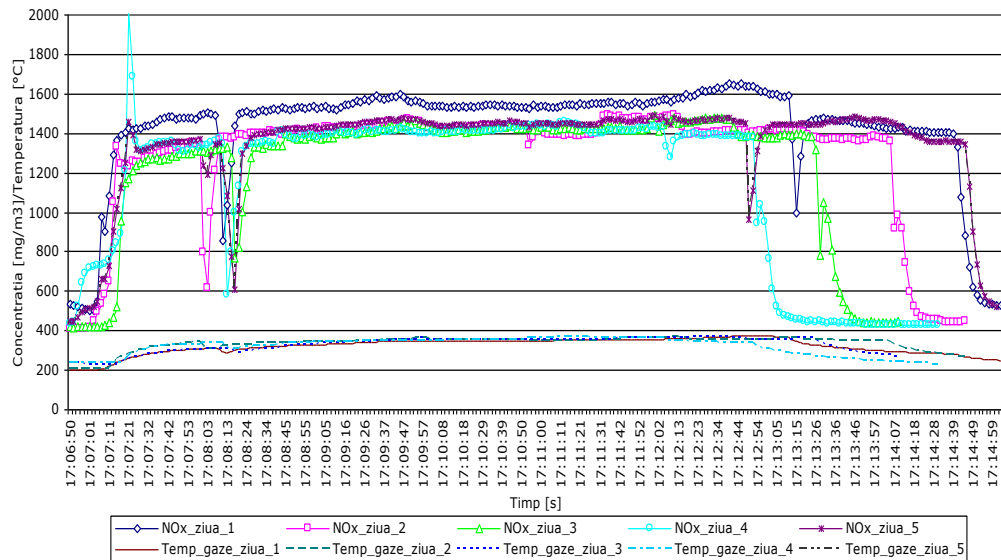


Figura 5.61. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Făget-Răchita

Intervalul de stații: 19. Răchita - Mănăștur

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 4 ‰

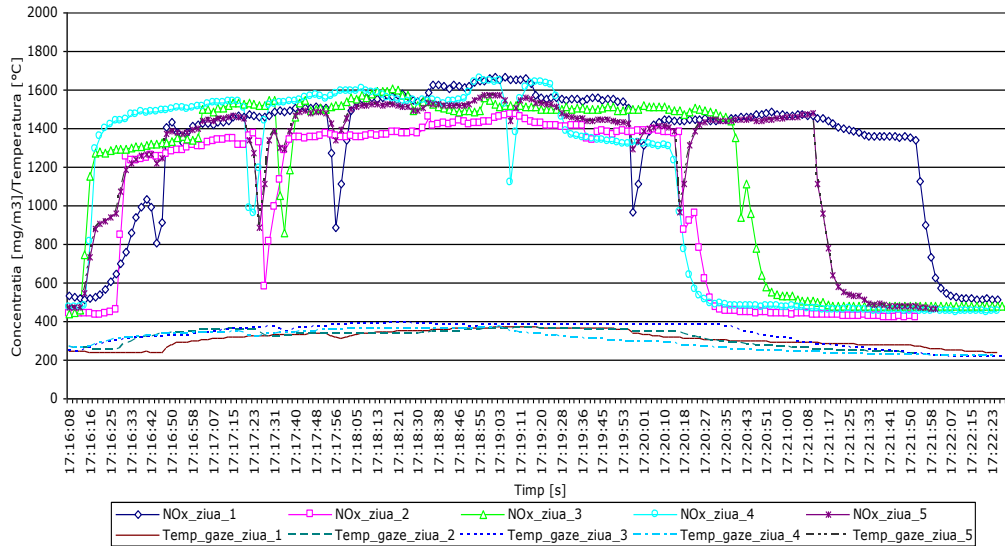


Figura 5.62. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Răchita-Mănăștur

Intervalul de stații: 20. Mănăștur – Traian Vuia

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 2 ‰

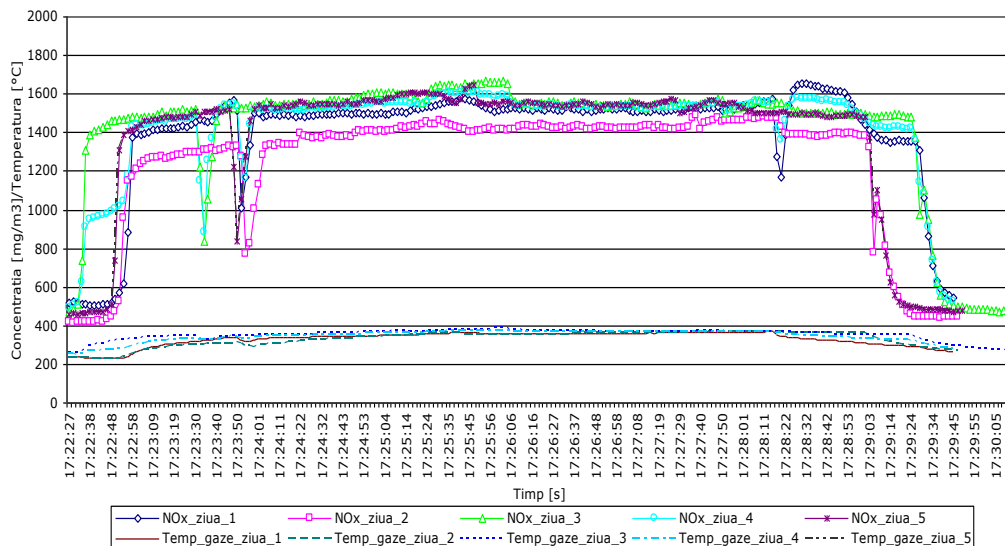


Figura 5.63. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mănăștur-Traian Vuia

Intervalul de stații: 21. Traian Vuia – Susani Bega

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 3‰

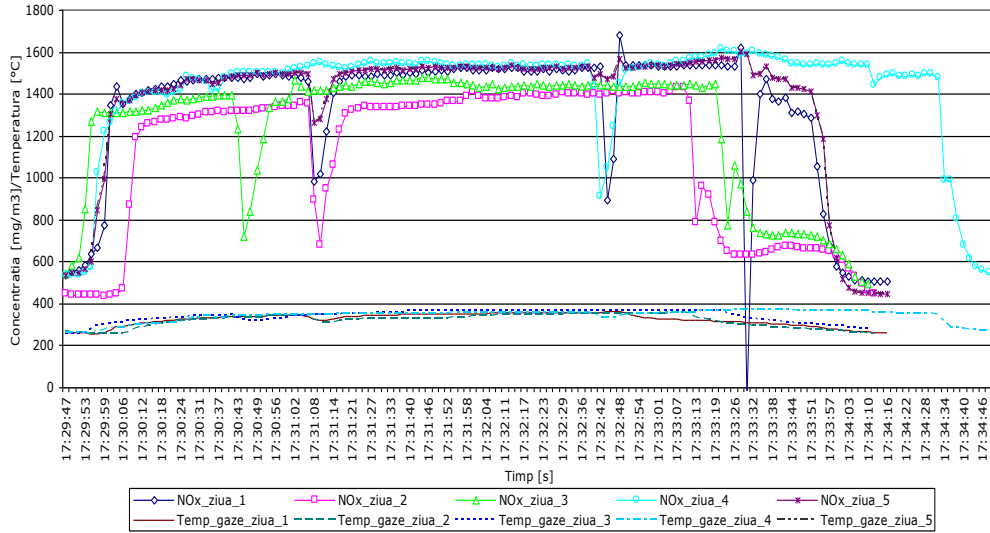


Figura 5.64. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Traian Vuia-Susani Bega

Intervalul de stații: 22. Susani Bega - Cliciova

Regimul de lucru: ușor

Declivitatea: 3 ‰

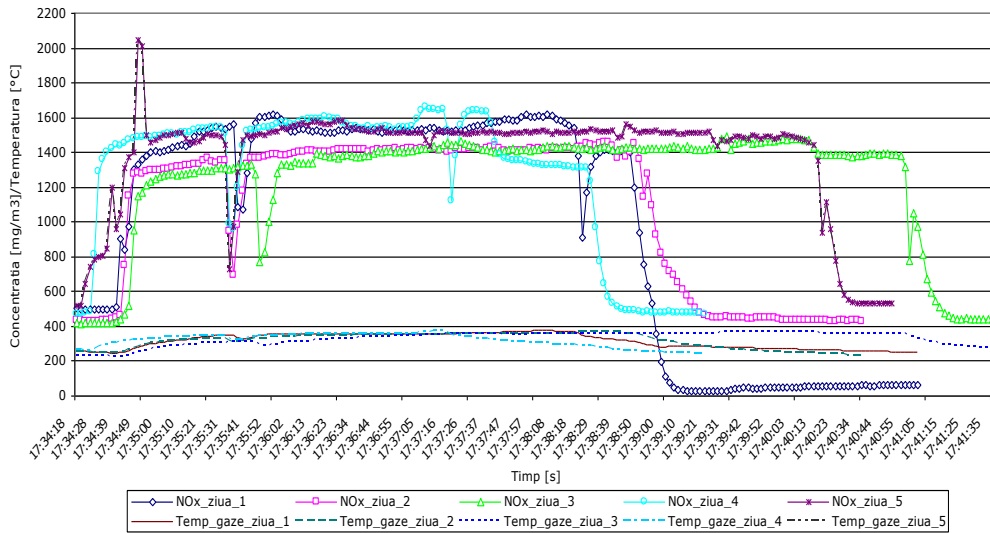


Figura 5.65. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Susani Bega-Cliciova

Intervalul de stații: 23. Cliciova - Nevrincea
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 2 ‰

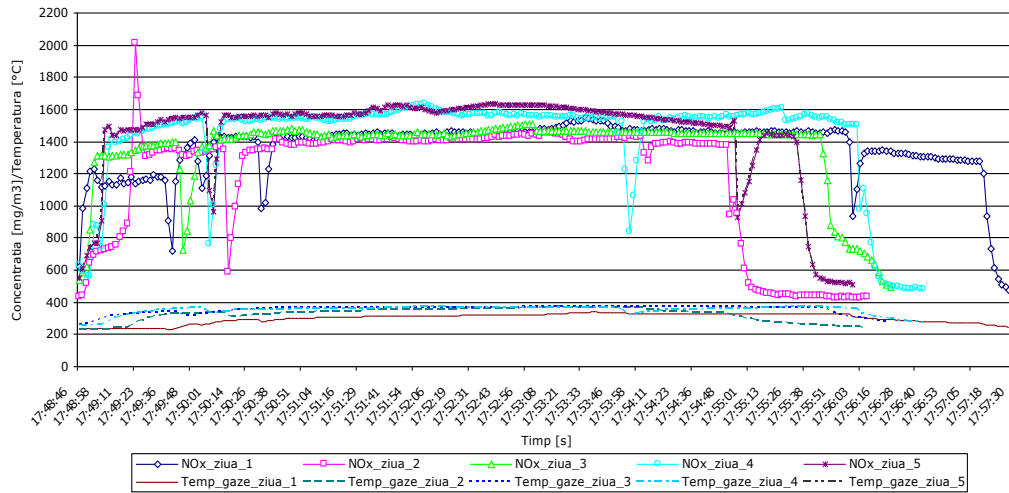


Figura 5.66. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Cliciova-Nevrincea

Intervalul de stații: 24. Nevrincea - Balinț
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 2 ‰

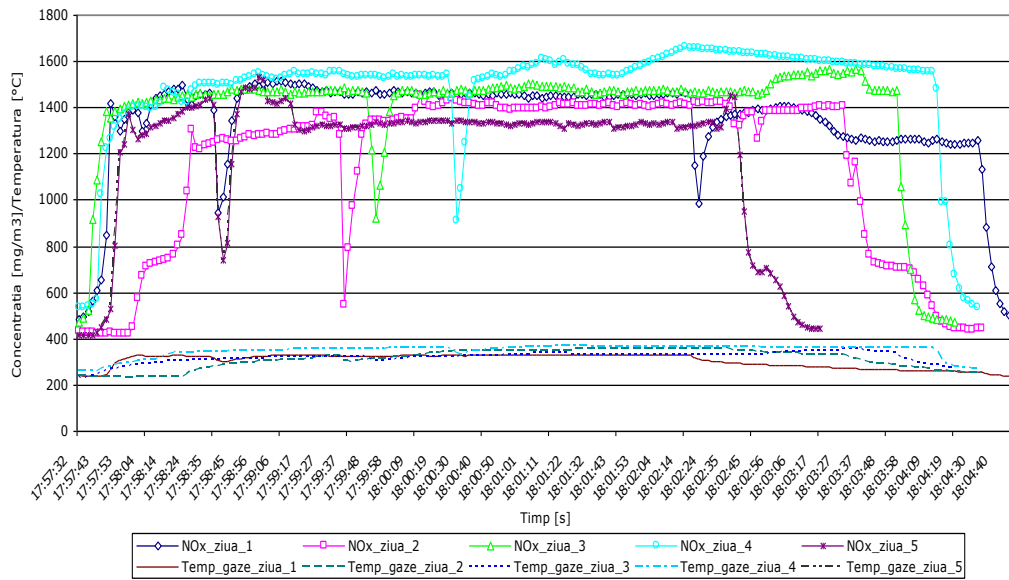


Figura 5.67. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nevrincea-Balinț

Intervalul de stații: 25. Balaș - Păru
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 8 ‰

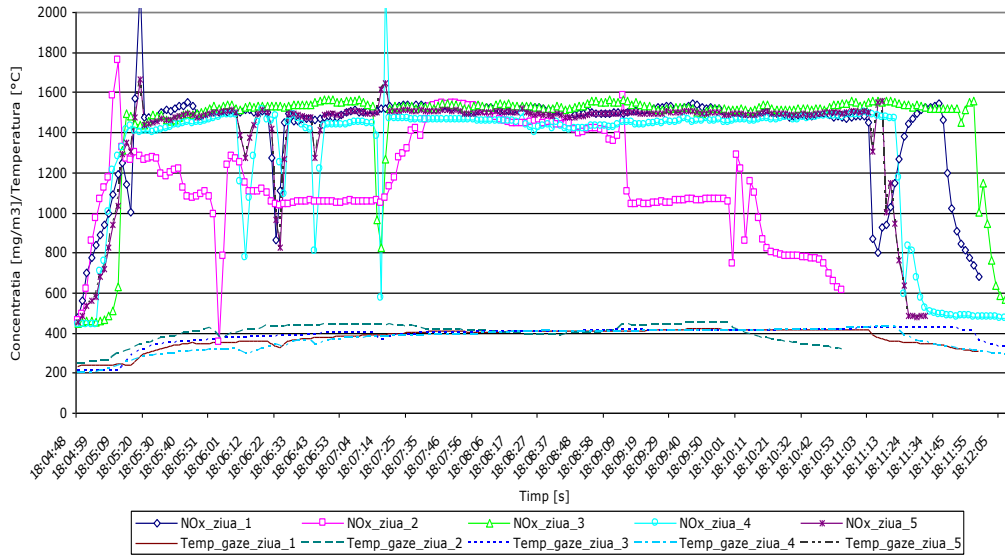


Figura 5.68. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Balaș-Păru

Intervalul de stații: 26. Păru - Coșteiu Mare
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: - 7 ‰

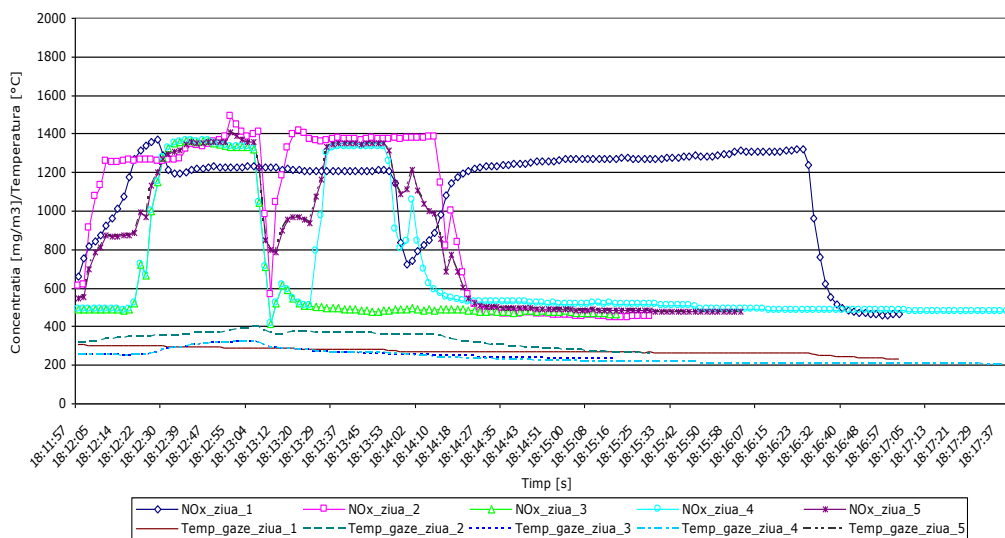


Figura 5.69. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Păru-Coșteiu Mare

Intervalul de stații: 27. Coșteiul Mare – Lugoj Nord
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 2 %

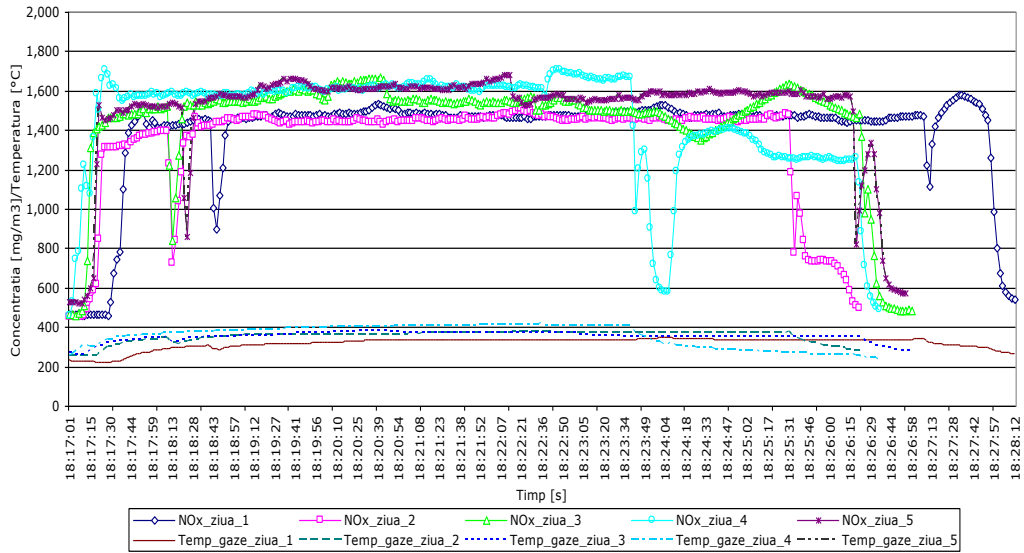


Figura 5.70. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiul Mare -Lugoj Nord

Intervalul de stații: 28. Lugoj Nord - Lugoj
 Regimul de lucru: ușor
 Declivitatea: 3 %

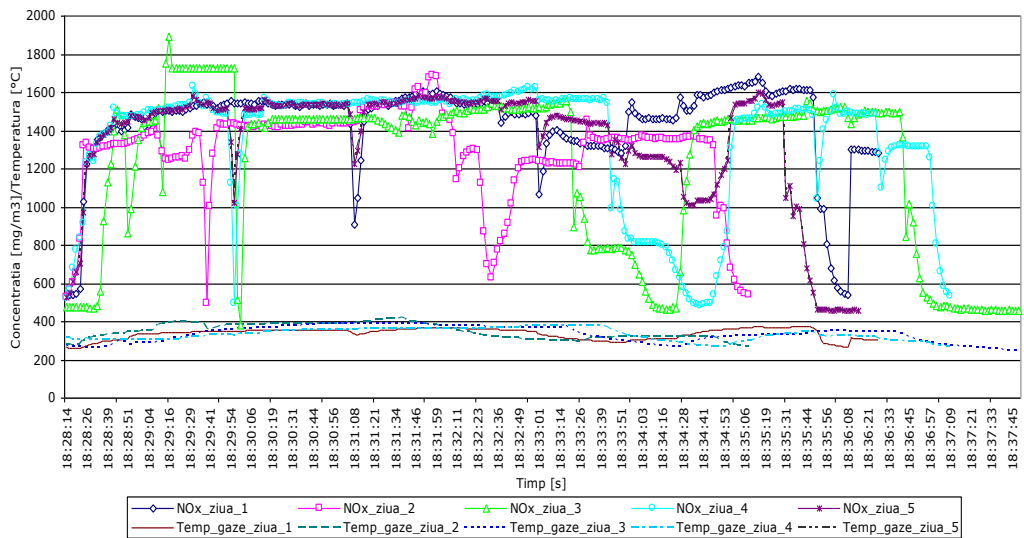


Figura 5.71. Variația concentrației și temperaturii între stațiileLugoj Nord-Lugoj

Tren: 9611

Secția de remorcare: 916 Lugoj – Buziaș

Tonaj remorcat: 194 tone

Pe întreaga secție de remorcare regimul de lucru al locomotivei a fost setat pe ușor, trenul a fost compus din două garnituri de tren cuplate și o locomotivă împingătoare

Intervalul de stații: 1. Lugoj - Boldur

Declivitatea: 2 ‰

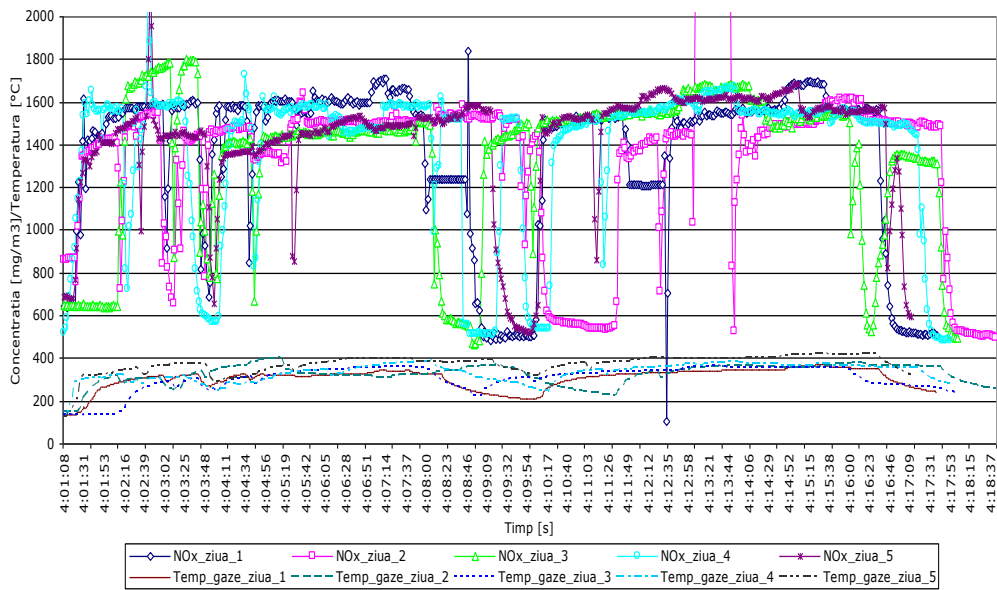


Figura 5.72. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Boldur

Intervalul de stații: 2. Boldur - Sinia
Declivitatea: 3 ‰

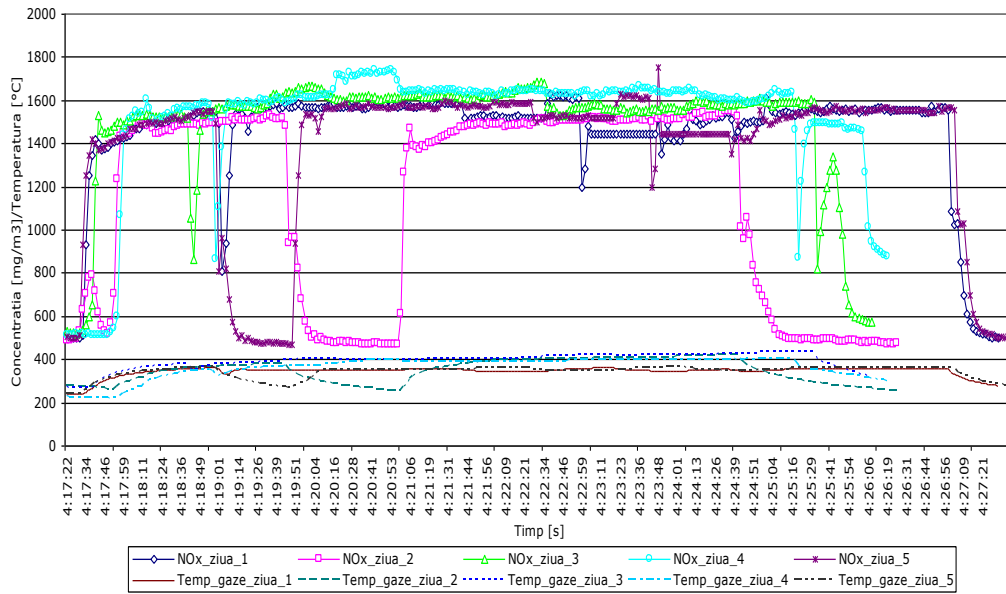


Figura 5.73. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Boldur-Sinia

Intervalul de stații: 3. Sinia - Căpăt
Declivitatea: - 2 ‰

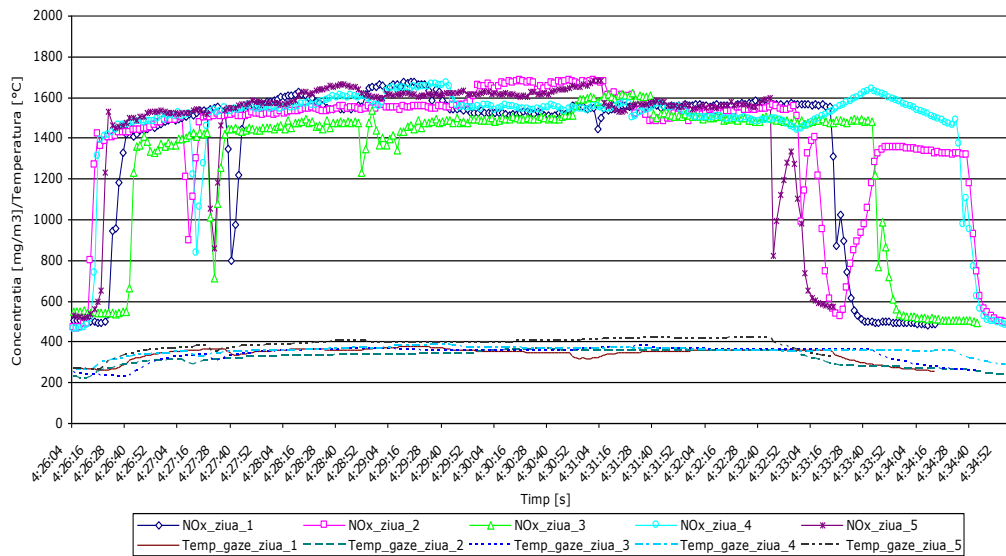


Figura 5.74. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sinia-Căpăt

Intervalul de stații: 4. Căpăt - Buziaș

Declivitatea: 10 ‰ / -10 ‰

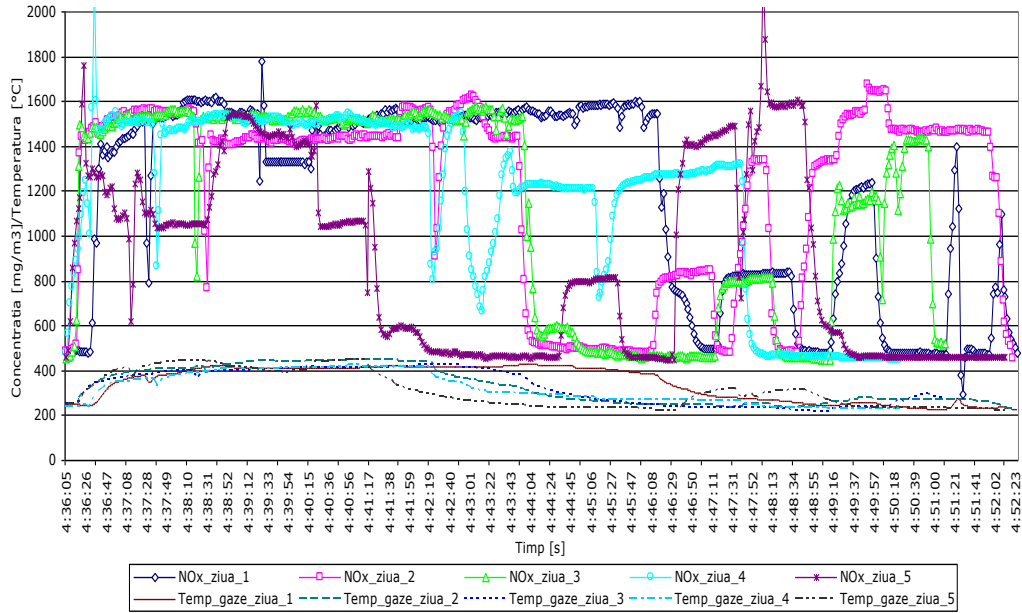


Figura 5.75. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Căpăt-Buziaș

Tren: 9611-2

Secția de remorcare: 918 Buziaș – Sacoșu Mic – Timișoara Nord

Tonaj remorcat: 95 tone

Pe întreaga secție de remorcare regimul de lucru al locomotivei a fost setat pe ușor

Intervalul de stații: 5. Buziaș - Bacova
Declivitatea: 6 ‰

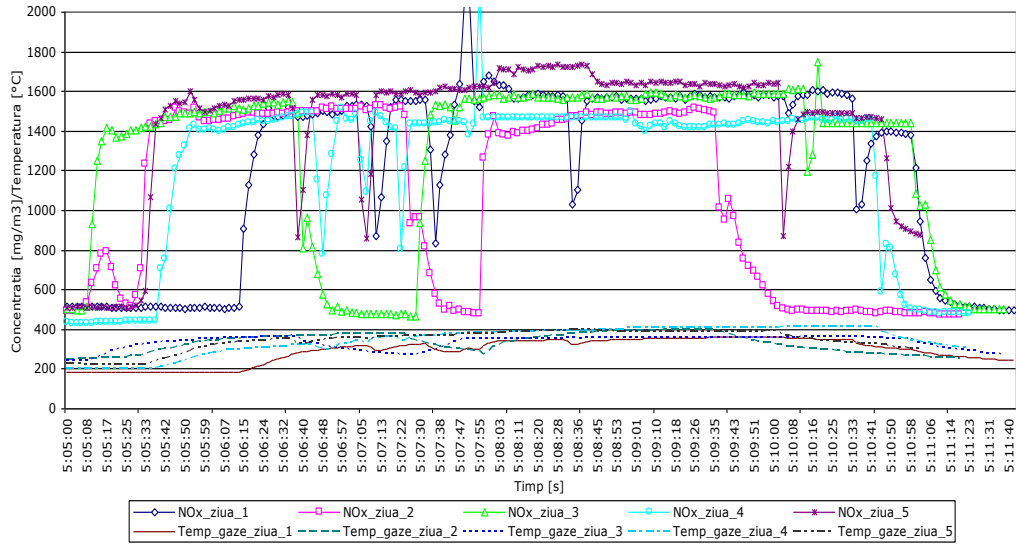


Figura 5.76. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Buziaș-Bacova

Intervalul de stații: 6. Bacova - Cheveres
Declivitatea: 2 ‰

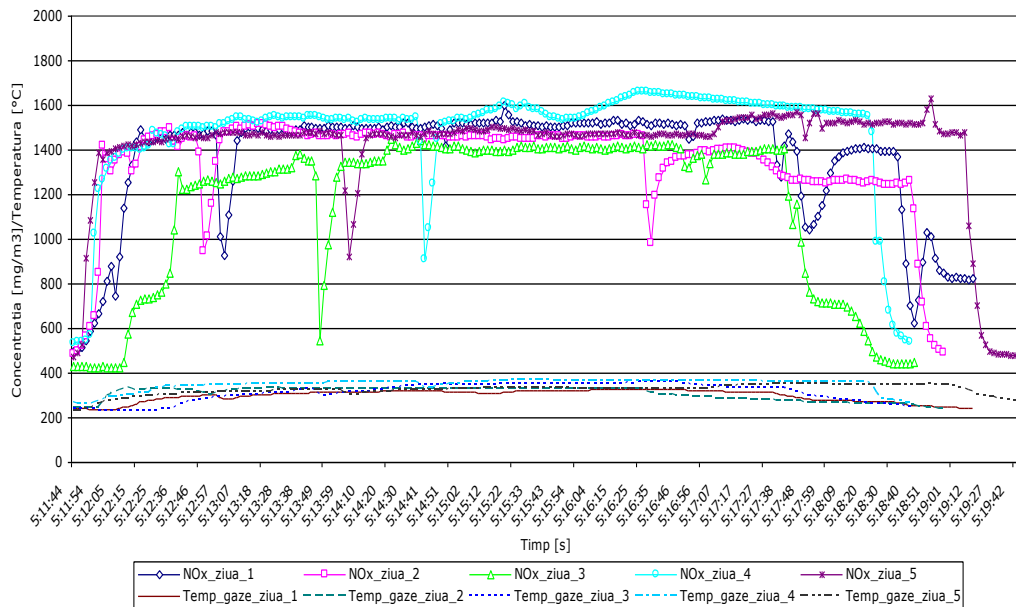


Figura 5.77. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bacova-Cheveres

Intervalul de stații: 7. Chevereș – Sacoșu Mic
Declivitatea: 2 ‰

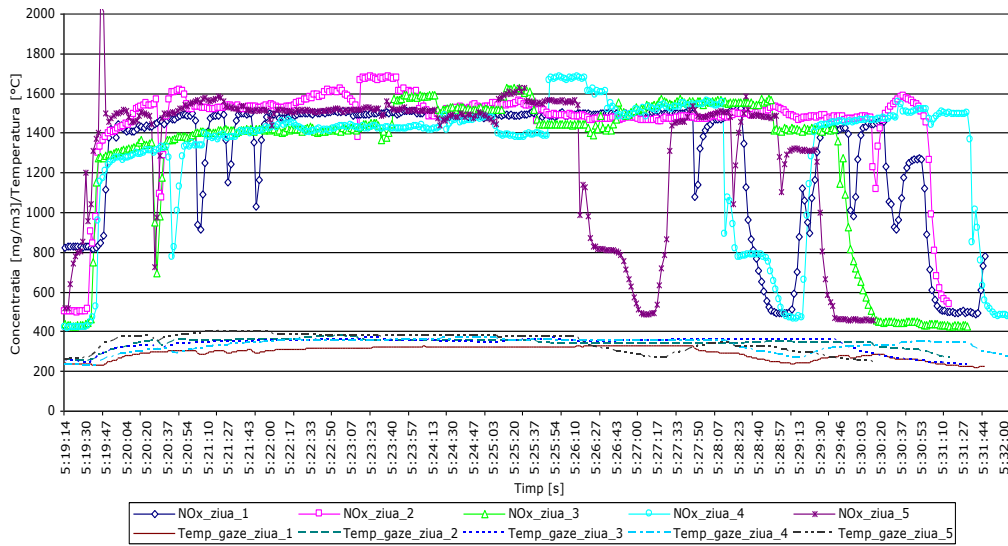


Figura 5.78. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Chevereș-Sacoșu Mic

Intervalul de stații: 8. Sacoșu Mic - Uliuc
Declivitatea: 2 ‰

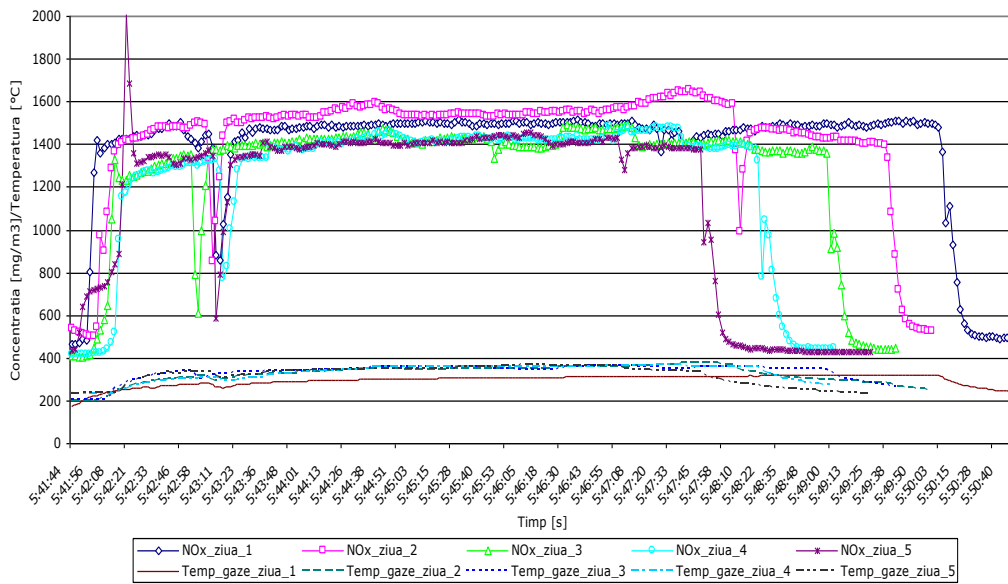


Figura 5.79. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sacoșu Mic-Uliuc

Intervalul de stații: 9. Uliuc - Urseni

Declivitatea: 5 ‰ / - 3 ‰

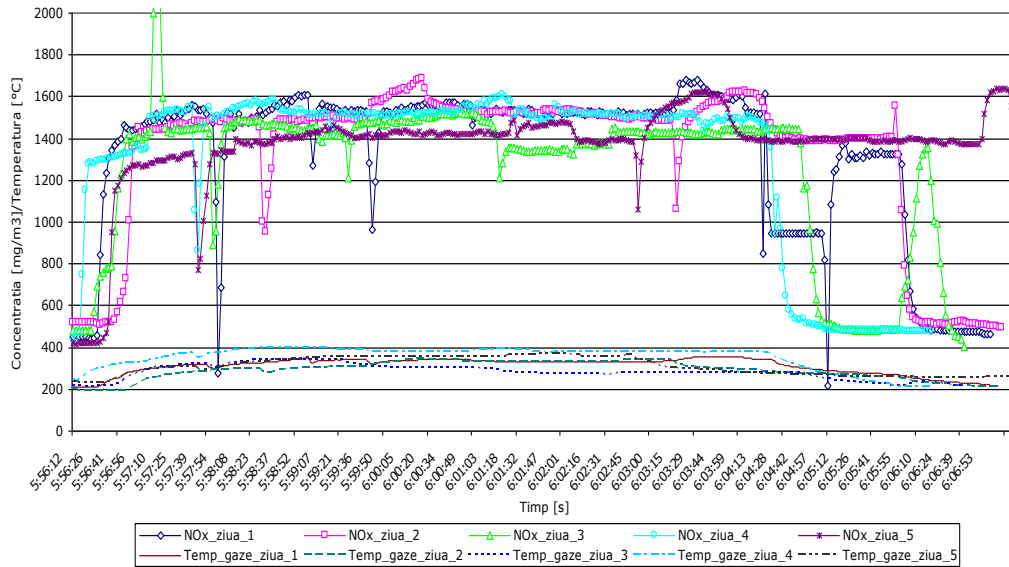


Figura 5.80. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Uliuc-Urseni

Intervalul de stații: 10. Urseni - Semic

Declivitatea: 0 ‰

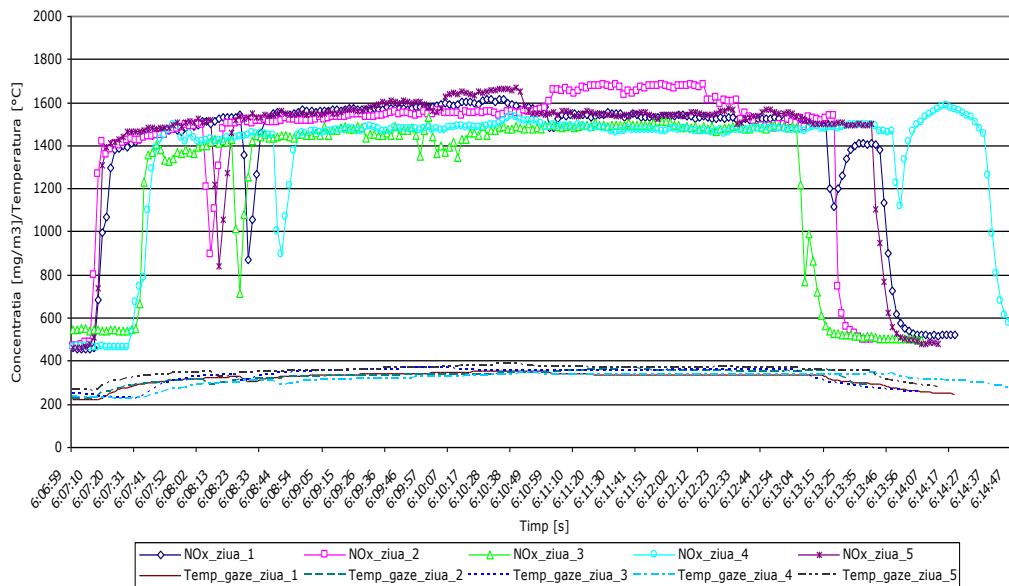


Figura 5.81. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Urseni-Semic

Intervalul de stații: 11. Semenic - Giroc
Declivitatea: 0 ‰

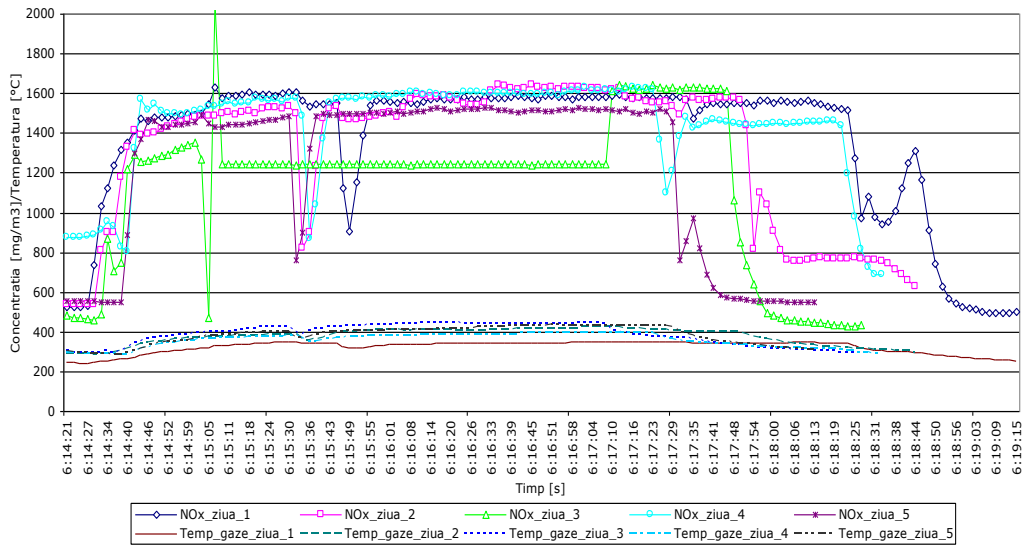


Figura 5.82. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Semenic-Giroc

Intervalul de stații: 12. Giroc – Timișoara Sud
Declivitatea: 1 ‰

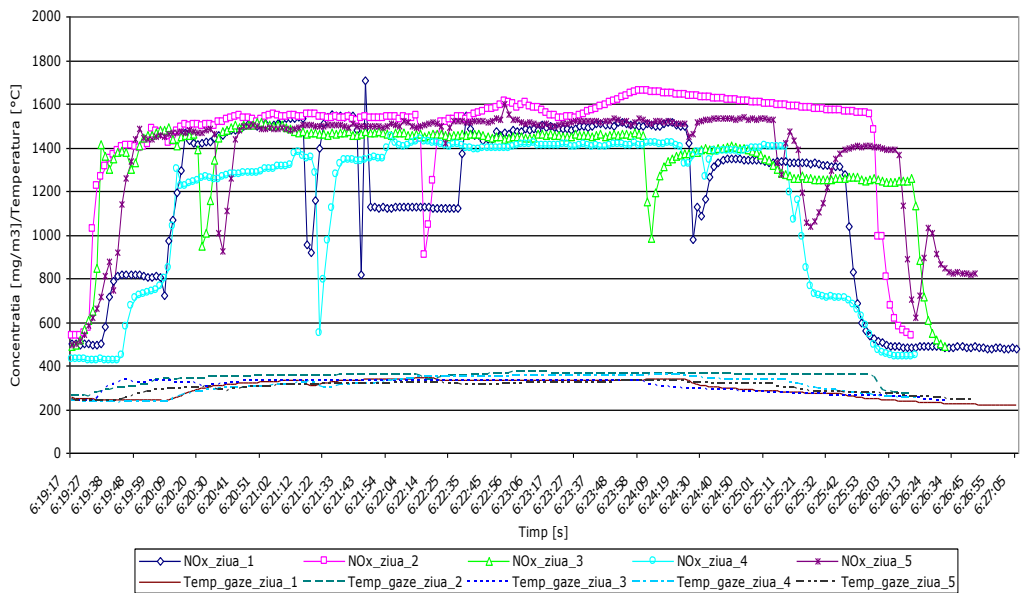


Figura 5.83. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Giroc-Timișoara Sud

Intervalul de stații: 13. Timișoara Sud – Timișoara Nord
Declivitatea: 4 ‰

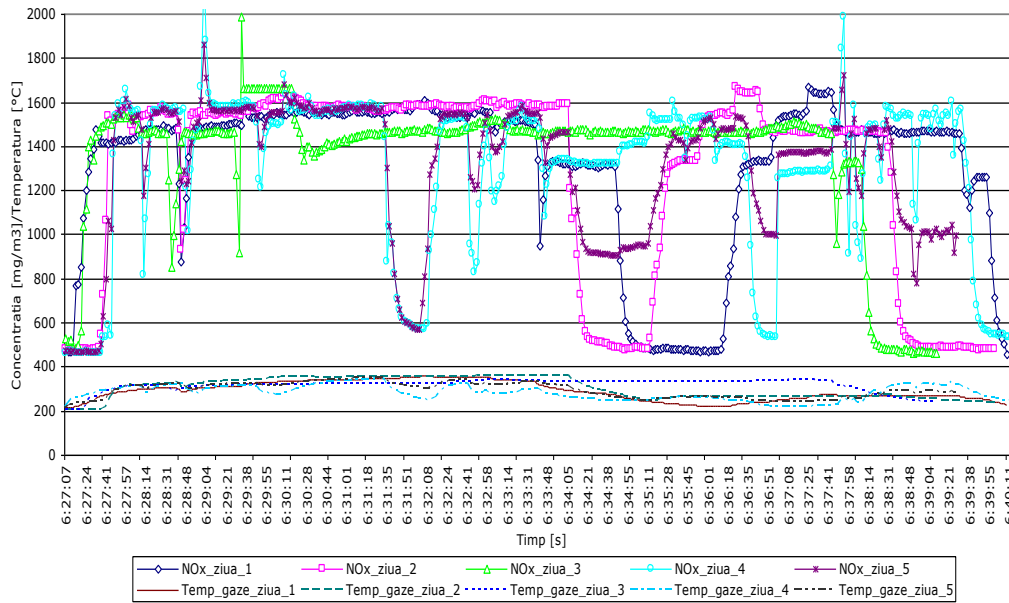


Figura 5.84. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Timișoara Sud-Timișoara Nord

Tren: 9618-1

Secția de remorcare: 918 Timișoara Nord – Sacoșu Mic – Buziaș

Tonaj remorcat: 95 tone

Pe întreaga secție de remorcare regimul de lucru al locomotivei a fost setat pe ușor

Intervalul de stații: 1. Timișoara Nord – Timișoara Sud
Declivitatea: 5 ‰

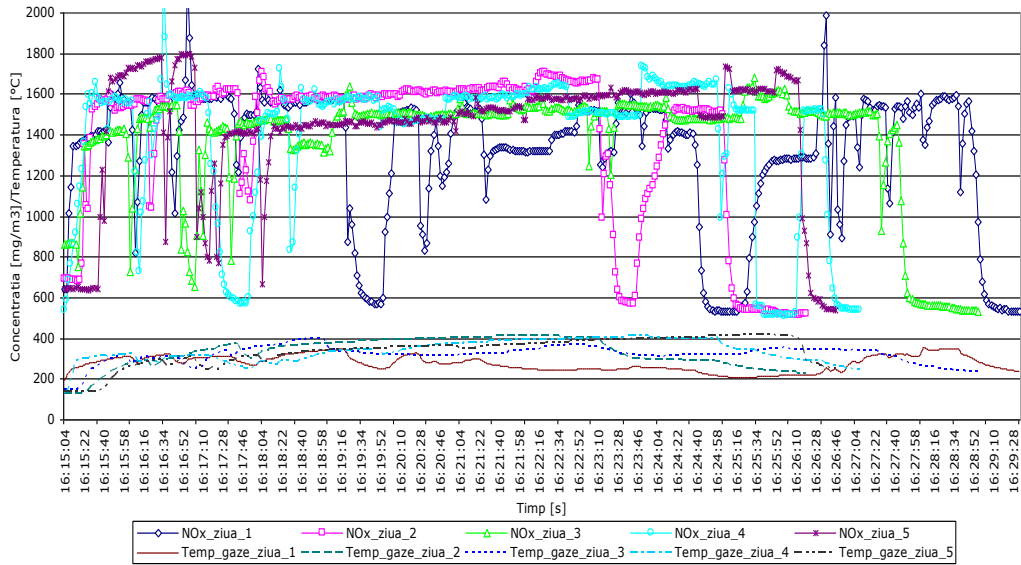


Figura 5.85. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Timișoara Nord-Timișoara Sud

Intervalul de stații: 2. Timișoara Sud - Giroc
Declivitatea: 0 ‰

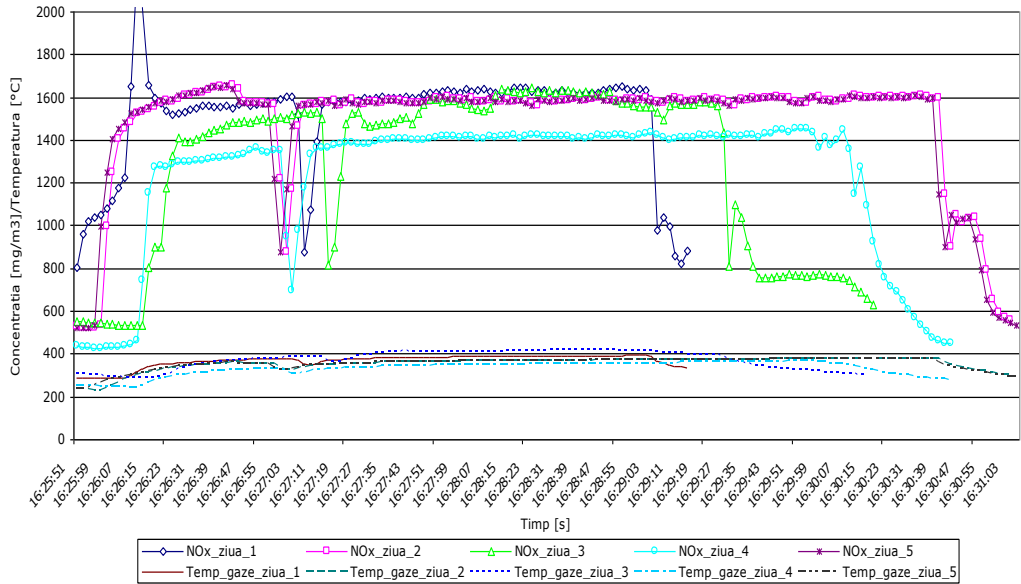


Figura 5.86. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Timișoara Sud-Giroc

Intervalul de stații: 3. Giroc - Semic
Declivitatea: 0 ‰

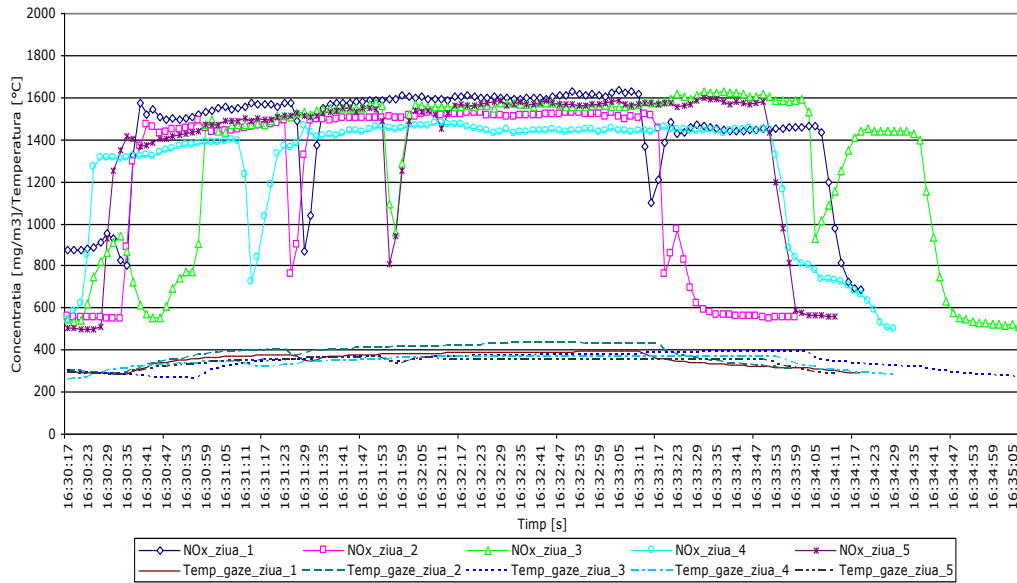


Figura 5.87. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Giroc-Semic

Intervalul de stații: 4. Semic - Urseni
Declivitatea: 0 ‰

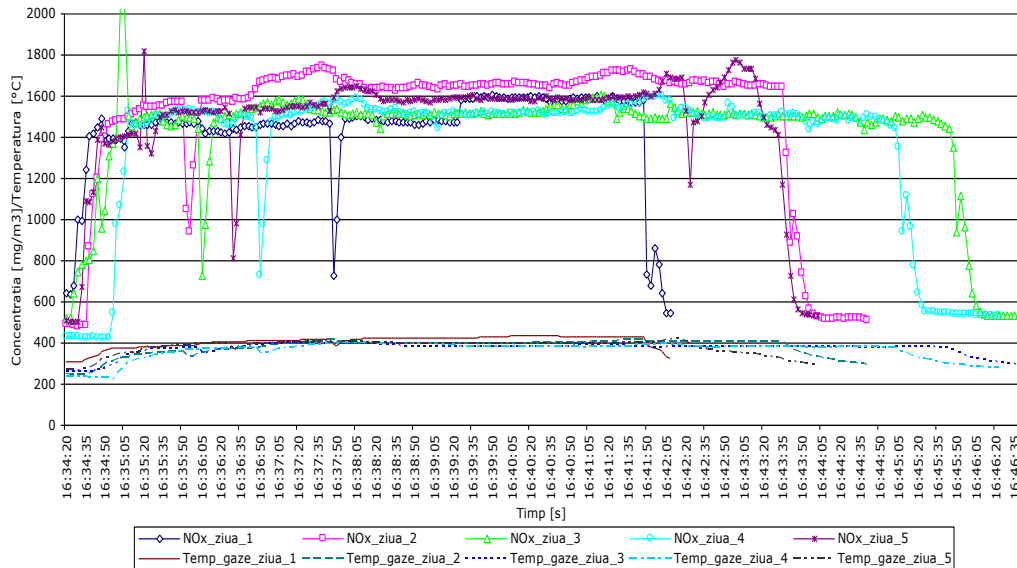


Figura 5.88. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Semic-Urseni

Intervalul de stații: 5. Urseni - Uliuc

Declivitatea: 3 ‰ / - 5 ‰

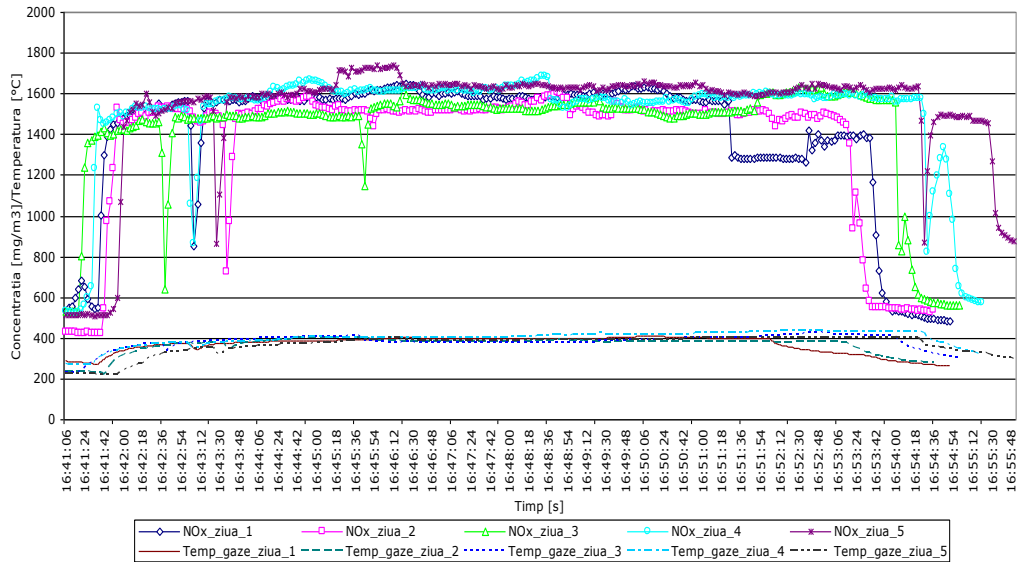


Figura 5.89. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Lugoj Nord

Intervalul de stații: 6. Uliuc – Sacoșu Mic

Declivitatea: 0 ‰

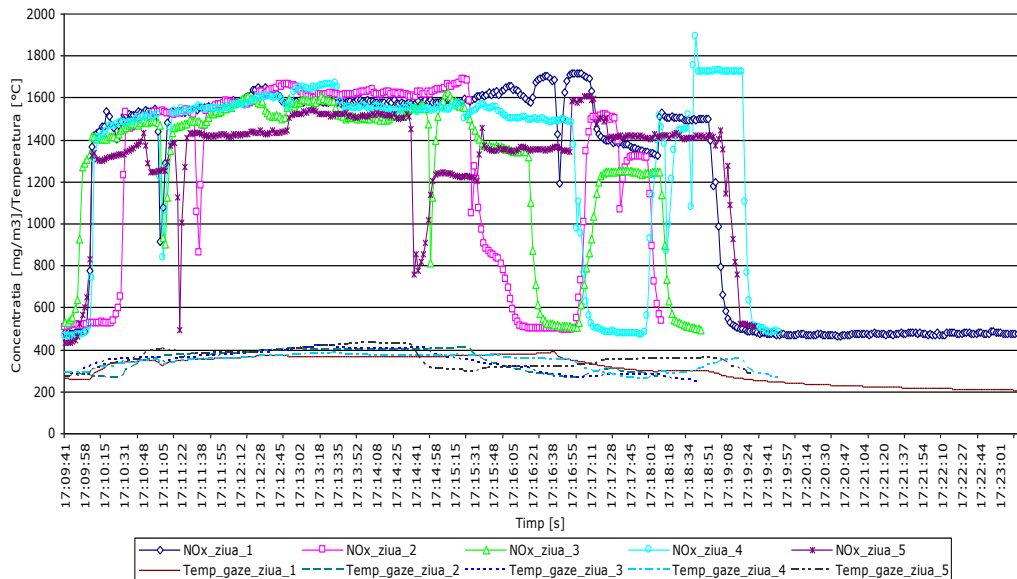


Figura 5.90. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Uliuc-Cheveres

Intervalul de stații: 7. Sacoșu Mic - Cheveres

Declivitatea: 0 ‰

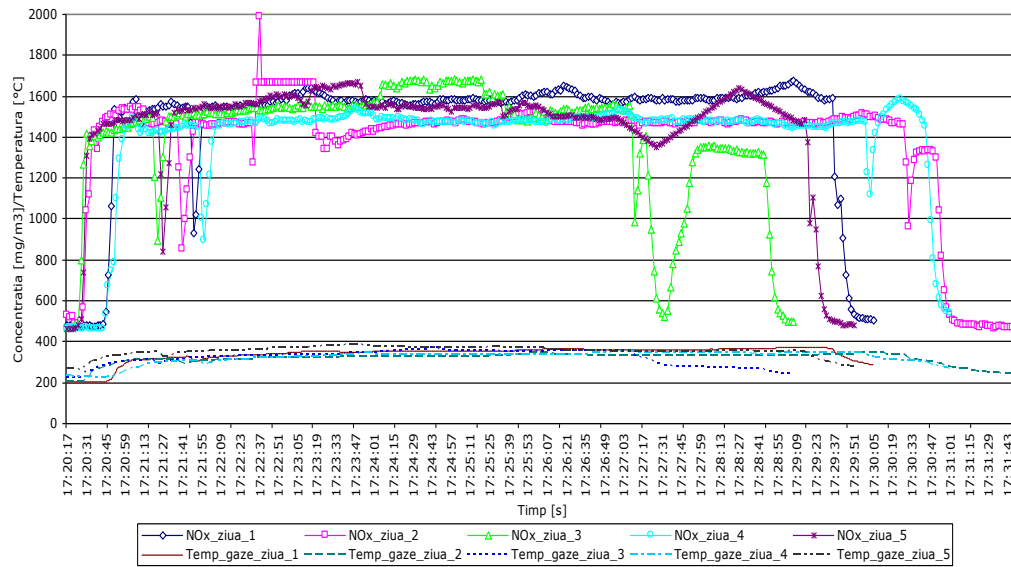


Figura 5.91. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sacoșu Mic-Cheveres

Intervalul de stații: 8. Cheveres - Bacova

Declivitatea: 2 ‰

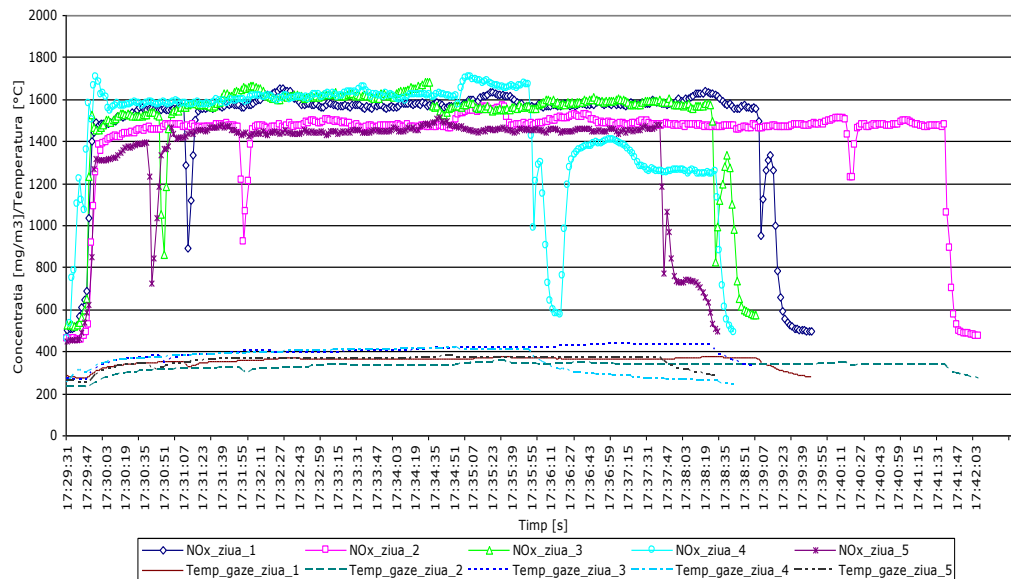


Figura 5.92. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Cheveres-Bacova

Intervalul de stații: 9. Bacova - Buziaș

Declivitatea: - 6 ‰

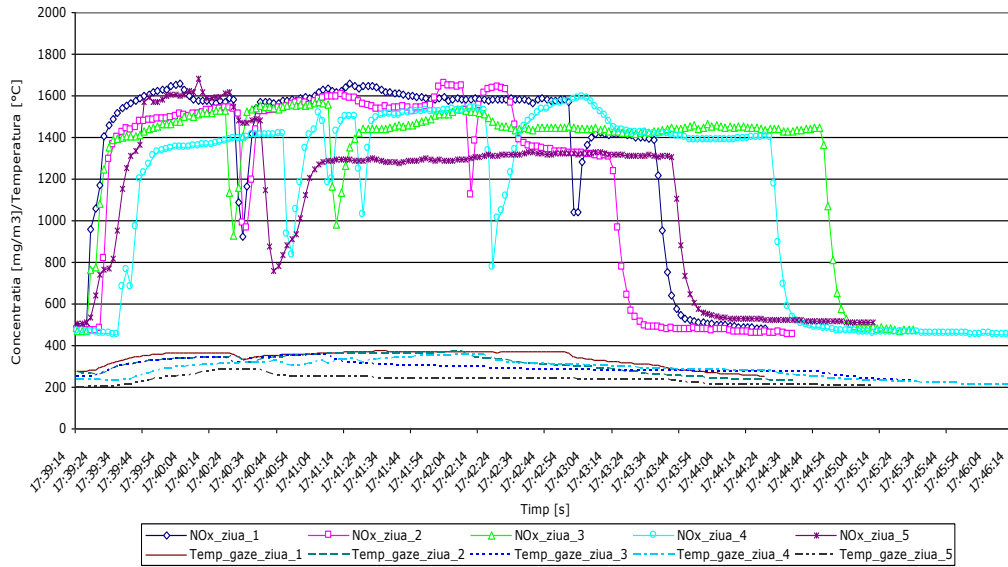


Figura 5.93. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bacova-Buziaș

Tren: 9618

Secția de remorcare: 916 Buziaș – Lugoj

Tonaj remorcat: 95 tone

Pe întreaga secție de remorcare regimul de lucru al locomotivei a fost setat pe ușor

Intervalul de stații: 10. Buziaș - Căpăt
Declivitatea: 10 ‰ / -10 ‰

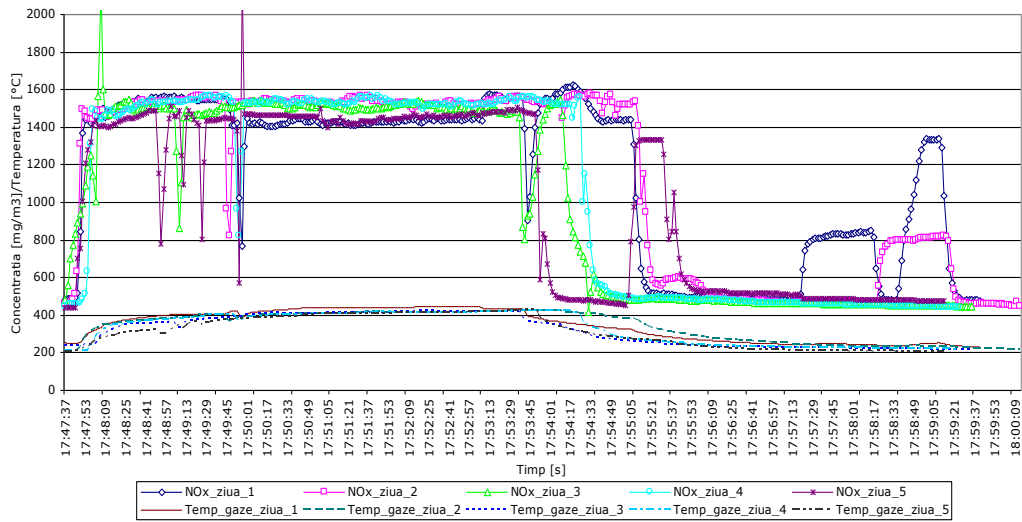


Figura 5.94. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Buziaș-Căpăt

Intervalul de stații: 11. Căpăt - Sinia
Declivitatea: 2 ‰

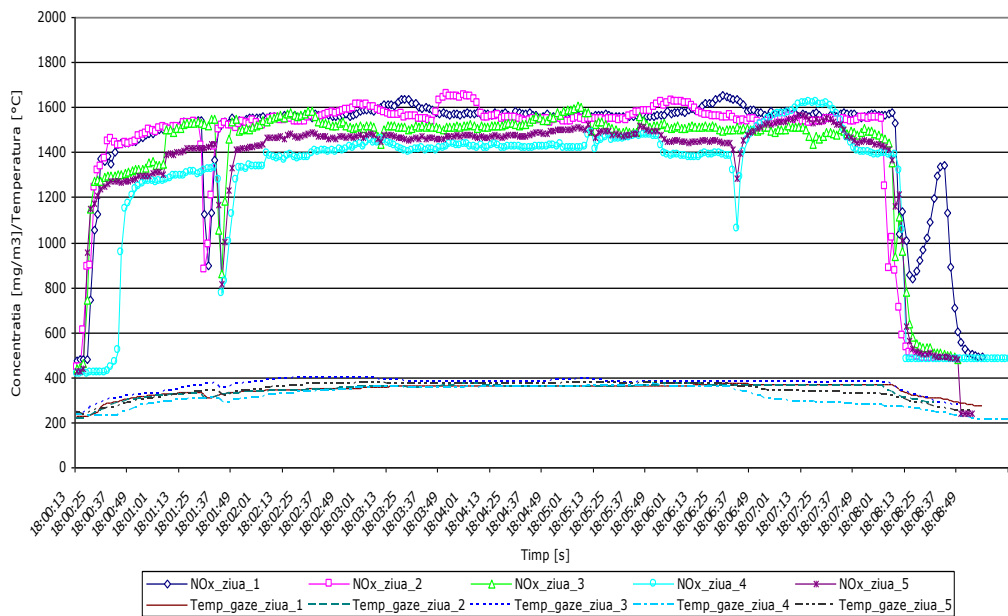


Figura 5.95. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Căpăt-Sinia

Intervalul de stații: 12. Sinia - Boldur

Declivitatea: 3 ‰

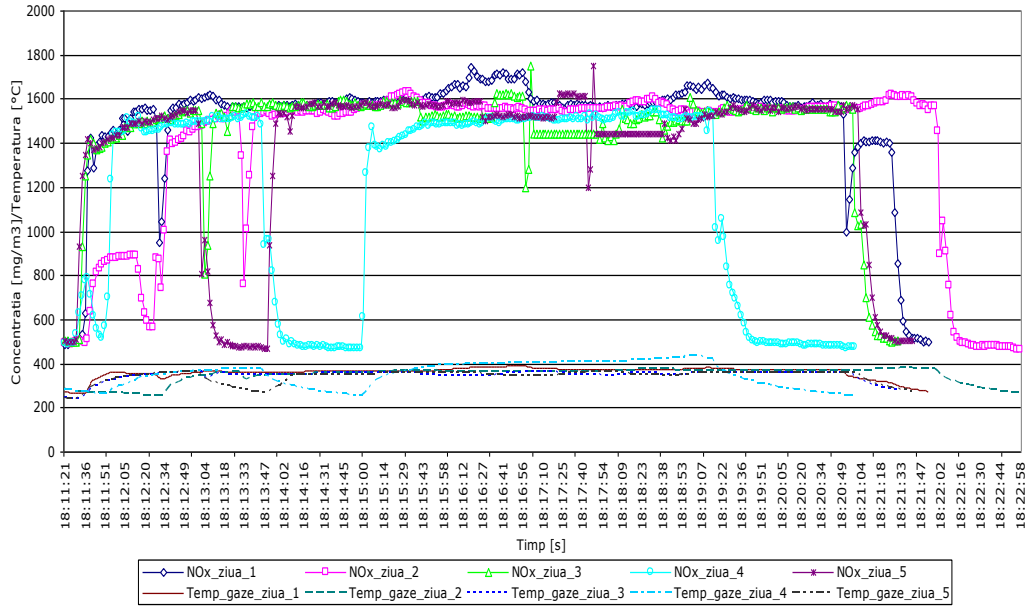


Figura 5.96. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sinia-Boldur

Intervalul de stații: 13. Boldur - Lugoj

Declivitatea: 2 ‰

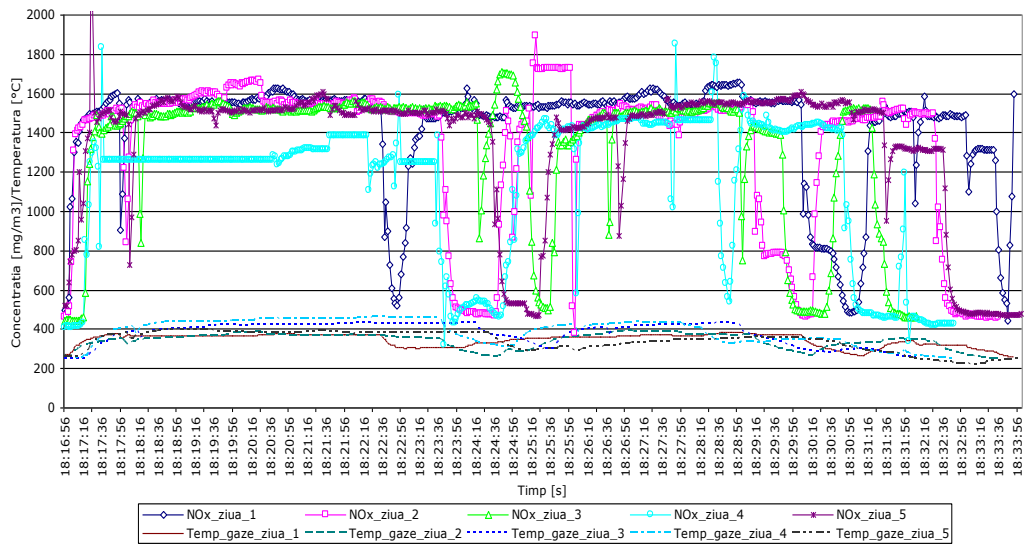


Figura 5.97. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Lugoj Nord

6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE DESPRINSE DIN CERCETARE

6.1 Concluzii generale

Cercetările s-au concentrat spre argumentarea teoretică și indicarea pe cale experimentală a avantajelor utilizării sistemului de transport feroviar în contextul acutizării problemelor legate de poluarea mediului înconjurător. Accentul s-a pus pe optimizarea emisiilor poluante ale motoarelor diesel ce echipează locomotivelor aflate în exploatare, astfel încât nivelurile de emisii rezultate în exploatarea curentă să se încadreze în limitele prevăzute de legislația în vigoare.

Cercetarea teoretică și experimentală s-a desfășurat în două etape:

1. Universitatea Tehnică din Regensburg
2. Universitatea "POLITEHNICA" din Timișoara,

și a scos în evidență următoarele avantaje:

1. Sistemul de transport pe calea ferată prezintă cea mai mare capacitate de transport, siguranță, fiabilitate, rentabilitate economică în condițiile respectării normelor de poluare a mediului.
2. Utilizarea metodelor active de reducere a emisiilor poluante au efecte pozitive asupra emisiilor poluante. Prin utilizarea combustibililor alterantivi și a biocombustibililor nivelul majorității emisiilor poluante cu efect de seră scade cu 10-12 % până la 100 % dar poate prezenta și creșteri ale emisiilor poluante cu până la 6-7 %.
3. Tehnologiile moderne primare (metode active) cele mai utilizate pentru reducerea emisiilor poluante sunt sistemele EGR, sistemele turbo dar și prin folosirea sistemelor de injecție de mare putere (common rail) în camere de ardere stratificate.
4. Sistemele secundare de reducere a emisiilor poluante (metode pasive) cunoscute sub numele de tratamente posttratate, sunt sistemele cu cea mai mare eficiență în ceea ce privește reducerea emisiilor poluante ale motoarelor diesel, eficiență ce poate atinge pragul de reducere a tuturor emisiilor poluante cu până la 85-90 %.
5. Dintre cele mai utilizate tehnici posttratate a gazelor de evacuare sunt folosite sistemele SCR, având cea mai mare eficiență, oxidatoare catalitice, filtre de particule, sisteme SNCR

6.2. Concluzii punctuale

A) Motorul cald (rulat) are o influență majoră asupra emisiilor de NO_x comparativ cu motorul rece, fapt ce se poate observa din figura 6.1. În cazul rulării motorului cald se obțin valori ale concentrației de NO_x produse de motor cu 15,62 % mai mici față de rularea cu motorul rece iar concentrația de NO_x după catalizator

fiind cu 72,29 % mai mici. Acest lucru se datorează absorbției mai mici de energie termică din partea blocului motor, energie termică produsă prin comprimarea combustibilului și utilizată în procesul de combustie, pe când în cazul primei rulări, o parte semnificativă din căldură a fost cedată acestuia, arderea a fost incompletă și au rezultat concentrații mai mari de NO_x. De asemenea o importanță majoră în valoarea concentrației de NO_x după catalizator o constituie faptul că în cazul rulării cu motorul rece, momentul începerii injecției de AdBlue a fost atunci când temperatura gazelor de evacuare (figura 5.7) a depășit valoarea de 210 °C comparativ cu rularea cu motorul cald când injecția de AdBlue s-a făcut pe întreaga durată a ciclului, temperatura (figura 5.9) având valori mai mari decât pragul minim pe întreaga durată a ciclului.

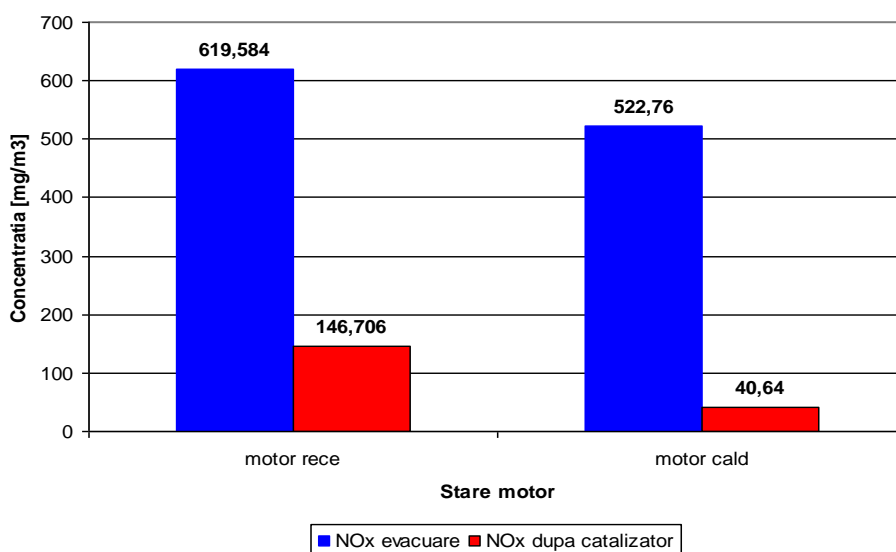


Figura 6.1 Variația concentrației de NO_x în cele două stări ale motorului

Concluzionând, în cazul rulării motorului în stare rece în ciclul NRTC se obțin valori ale concentrației de NO_x după catalizator cu 76,32 % mai mici decât valorile concentrației de NO_x produse de funcționarea motorului. Rulare motorului în stare caldă în ciclul NRTC duce la obținerea unor concentrații de NO_x după catalizator cu 92,22 % mai mici decât valorile concentrației de NO_x produse de funcționarea motorului, deci o eficiență ridicată a soluției de posttratament a gazelor de evacuare, în acest caz un sistem de reducere catalitică (SCR).

B) În figura 6.2 este prezentată variația concentrației de NO_x în urma rulării motorului pe standul de încercări sub ciclul static (NRSC) conform normelor în vigoare. Se observă faptul că emisiile motorului diesel scad o dată cu încărcarea motorului de la valoarea de 845,81 [mg/m³] corespunzătoare cuplului maxim până la valoarea de 344,2 [mg/m³] corespunzătoare unei valori a cuplului de 10 % din cuplul maxim.

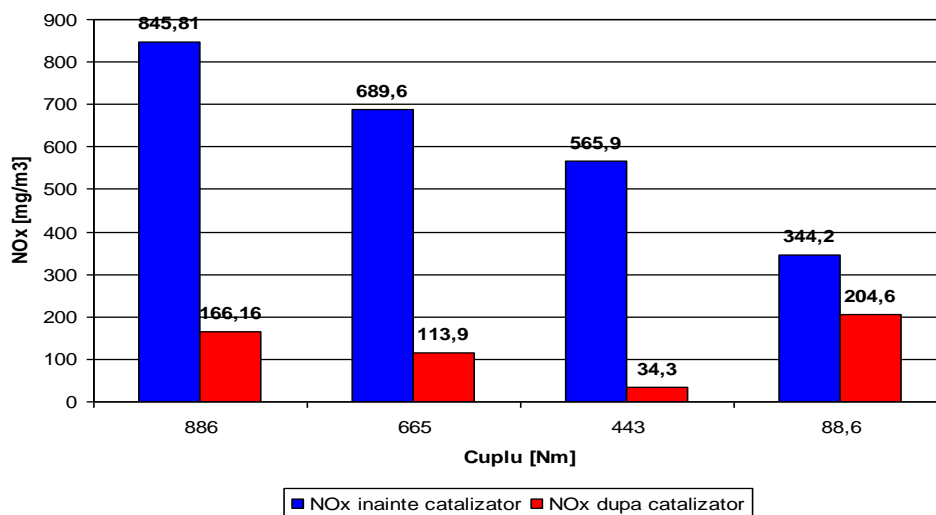


Figura 6.2. Variația concentrației de NO_x la turația constantă de n=1900 [rot/min]

Valorile concentrației de NO_x după catalizator scad și acestea (figura 6.2) până la o valoare minimă de 34,3 [mg/m³] corespunzătoare unei valori a cuplului motor de 50 % din cuplul maxim, după care tendința este de creștere până la valoarea de 204,6 [mg/m³]. În prima parte tendința de scădere este datorată unor temperaturi optime de funcționare a sistemului de reducere catalitică, a cărui rată de conversie este 80 până la 94 % după care această rată scade pe ultima treaptă de încărcare până la 40 % datorită unei solicitări mici a motorului cu efect asupra gazelor de evacuare a căror temperatură scade sub pragul minim necesar denoxării (tabel 5.4) cu toate că s-a menținut raportul de dozare (coeficientul $\alpha = \text{NH}_3/\text{NO}_x$) 1.

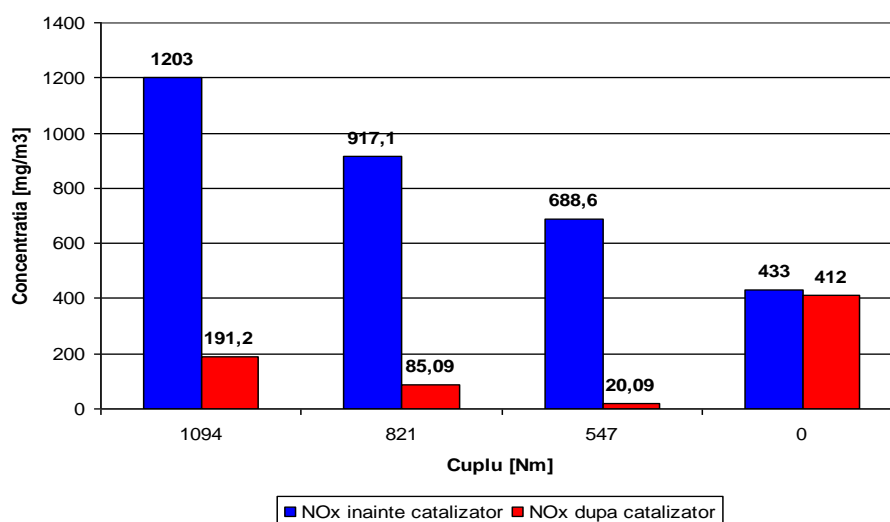


Figura 6.3 Variația concentrației de NO_x la turația constantă de n=1500 [rot/min]

Tendința emisiilor de NO_x este asemănătoare și în cazul rulării motorului în cilul static NRTC la turația constantă de n=1500 [rot/min] cu observația ca în acest caz emisiile de NO_x sunt mai mari datorită solicitării motorului la cupluri motoare mari dar la turație mai mică lucru datorat unei optimizări mai bune a amestecului aer combustibil la turații mari. Rata de reducere pentru primele trei trepte de încărcare variază între 84 % și 97 %, ultima treaptă fiind mersul în gol unde motorului diesel funcționează în ralanti. În ralanti temperaturile gazelor de evacuare scad mult sub pragul optim de denoxare (tabelul 5.4), în consecință procentul de reducere a emisiilor de NO_x fiind de doar 5 %.

În urma testelor statice se poate concluziona că sistemul de reducere catalitică (SCR) este o metodă de reducere a concentrațiilor de NO_x cu o eficiență foarte ridicată cu condiția funcționării peste pragul minim de temperatură (temperatura gazele de evacuare) de 200-210 °C.

C) În cazul testelor statice pe locomotiva diesel hidraulică LDH 125, ralanti și cinci trepte de încărcare, nivelul emisiilor rezultate în urma variației turației cresc (figura 6.4). Variația emisiilor de NO_x prezintă o rată de creștere foarte accentuată la trecerea pe treapta 1 de încărcare datorită creșterii cuplului, lucru ce duce la funcționarea motorului cu amestec sărac ($\lambda > 1,05-1,2$). Tendința pe următoarele trepte de încărcare este de creștere până la valoarea de 1169 [mg/m³] pentru ultima treaptă de încărcare. Pe toate treptele de încărcare, factorii care favorizează producerea acestor concentrații de oxizi de azot sunt creșterea turației, a temperaturii combustiei care se poate observa din creșterea temperaturii gazelor de evacuare și a consumului de combustibil.

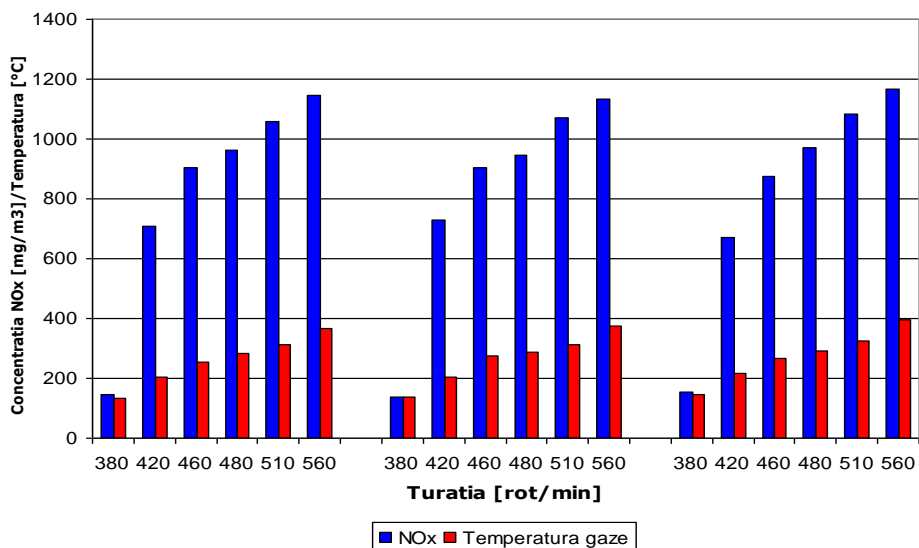


Figura 6.4 Variația emisiilor și temperaturii pe treptele de încărcare în funcție de turația motorului diesel la locomotiva LDH 125

Valorile și modul de variație a concentrației de NO_x și a temperaturilor în cazul locomotivei diesel hidraulice 125 modernizată Caterpillar diferă față de locomotiva LDH 125 clasică (figura 6.5). Aceste diferențe apar datorită motoarelor

diesel cu care aceste locomotive sunt echipate și caracteristicilor acestora de funcționare.

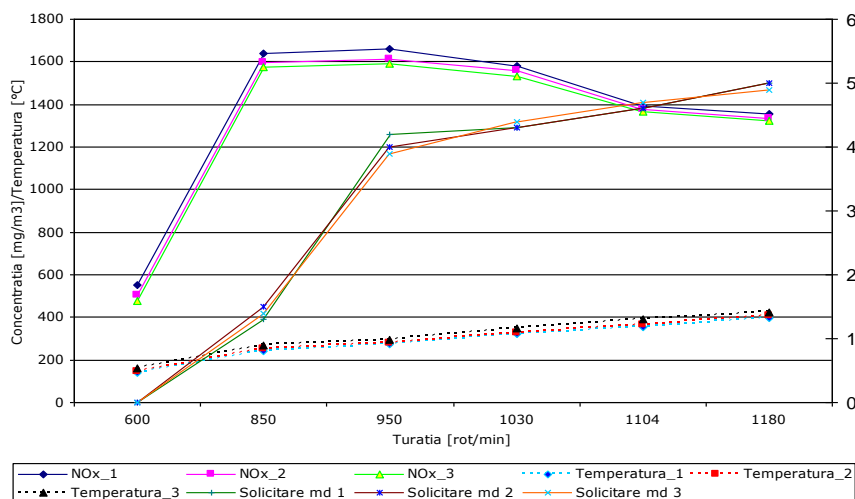


Figura 6.5. Variația emisiilor și temperaturii pe treptele de încărcare în funcție de turația motorului diesel la locomotiva LDH 125 modernizată Caterpillar

Variația concentrației emisiilor de NO_x prezintă o creștere foarte bruscă pe prima treaptă de încărcare, urmată de o creștere mică până la valoarea maximă de $1658 \text{ [mg/m}^3\text{]}$ iar apoi tendința concentrației este de descrește până la valoarea de $1322 \text{ [mg/m}^3\text{]}$. Tendința de descreștere a concentrației se justifică prin faptul că de la turații mai mari de 1000 [rot/min] sistemul turbo al motorului intră în acțiune fapt ce crește presiunea aerului de admisie, inițial cu presiuni mici de $0,1\text{-}0,2 \text{ bar}$ cu tendințe de creștere pe fiecare treaptă de încărcare și turație, ca de exemplu la turația de 1340 [rot/min] presiunea ajungând la valori de $0,8\text{-}1 \text{ bar}$. Creșterea presiunii aerului de admisie are ca efect introducerea în camera de ardere a unei cantități mai mare de aer rezultând o ardere mai completă.

D) Figura 6.6 prezintă variația concentrației medii de NO_x pe fiecare din cele 29 de intervale dintre stațiile de cale ferată în care trenul a oprit, pe secție de remorcare Lugoj – Făget – Simeria.

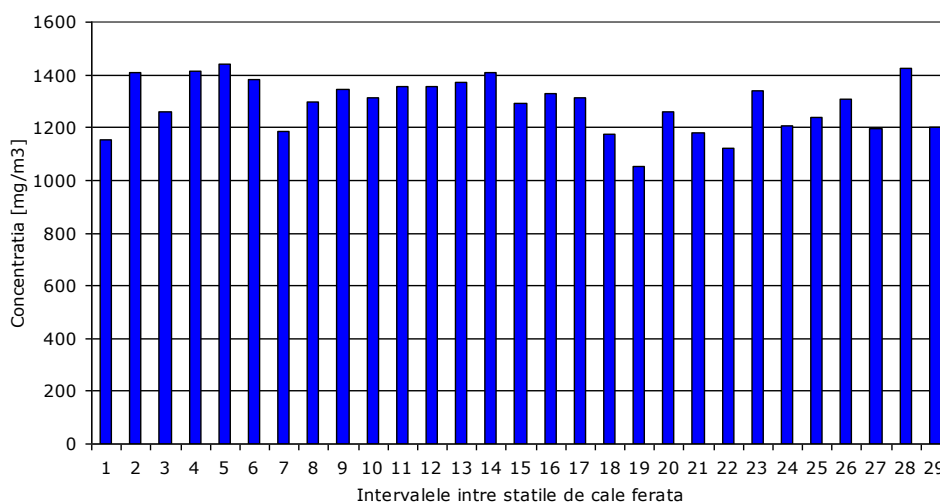


Figura 6.6. Variația concentrației medii de NO_x pe secția Lugoj - Făget - Simeria pentru trenul 2182

Punctele cu concentrații maxime de NO_x s-au obținut pe intervale de stații în urcare pe zone cu declivități de 10‰ datorită cuplului mare necesar tractării vagoanelor dar și în intervale de stații aflate în palier (declivitatea $i=0\%$), porțiuni în care nu a fost nevoie de forță mare de tracțiune, locomotiva funcționând la turații de 850-1030 [rot/min], turații la care emisiile de NO_x sunt ridicate (figura 5.13). Intrevalele dintre stații cu concentrațiile de NO_x reduse (concentrații mai mici de 1000 [mg/m³]) se află în zone de coborâre, cu declivități negative unde, după aplicarea unui cuplu necesar demarării, locomotiva a fost setată să funcționeze pe punctul 0 la controlerului, poziție corespunzătoare mersului în gol al motorului diesel.

Variații similare ale concentrației de NO_x (figura 6.7) se pot observa și în cazul parcursului de întoarcere. La parcursul de întoarcere profilul în lung al liniei prezintă mai multe porțiuni cu declivități negative, acest lucru a dus la o manipulare a locomotivei pe poziții cu turații mici, fapt ce a favorizat producerea unor concentrații ale emisiilor de NO_x în cantități mari.

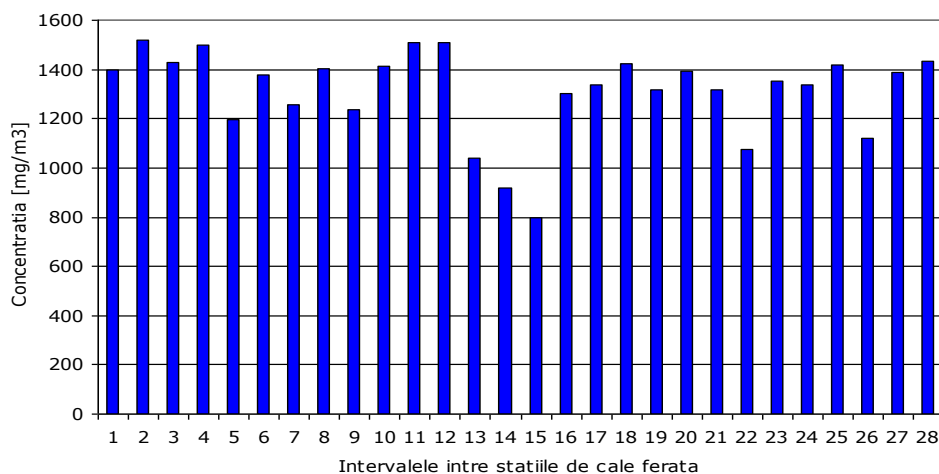


Figura 6.7. Variația concentrației medii de NO_x pe secția Simeria - Făget - Lugoj pentru trenul 2185

Concluzionând, analiza rezultatelor arată faptul că pe relația Lugoj - Simeri, concentrația emisiilor de NO_x este mai mică cu 2 % decât în cazul circulației trenului în sens invers.

Variația concentrațiilor emisiilor de NO_x pe ruta Lugoj-Timișoara sunt prezentate în figura 6.8. Valorile maxime ale concentrațiilor s-au obținut pe intervalele dintre stații a caror profil în lung al liniei prezintă variații ale declivităților care au determinat o funcționare alternantă a motorului, atât în puncte de turație și cuplu mare cât și în puncte de turații și cuplu mic. Zonele cu concentrații reduse s-au obținut între stații cu declivități negative dar și în cazul în care pentru menținerea timpilor de mers s-a manipulat locomotiva în zone de turații ridicate.

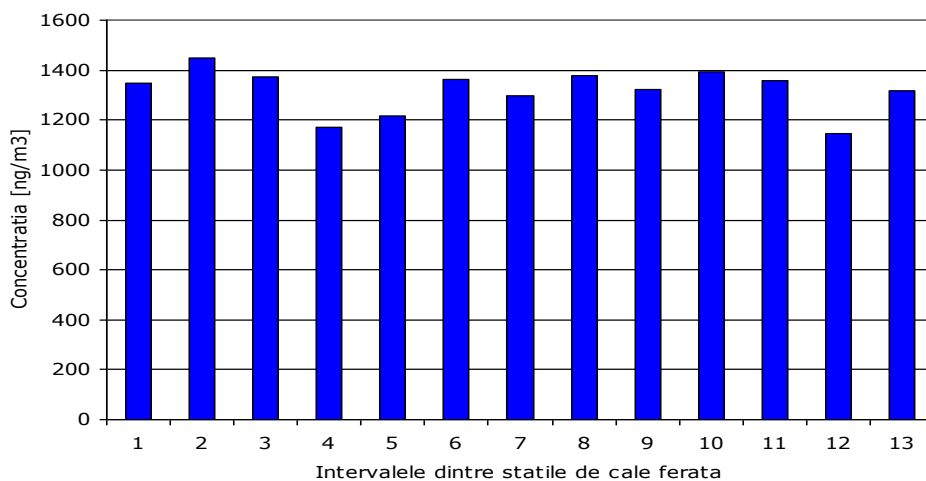


Figura 6.8. Variația concentrației medii de NO_x pe secția Lugoj – Buziaș – Timișoara Nord pentru trenul 9611

Nivelul concentrațiilor emise pe această rută ating niveluri maxime pe intervale cu declivități mici și zero, valorile sunt obținute în zonele cu declivități negative unde motorul funcționează la ralanti, valorile de mijloc corespund unor turații ale motorului diesel cuprinse între 950 și 1100 [rot/min] conform figurii 6.9.

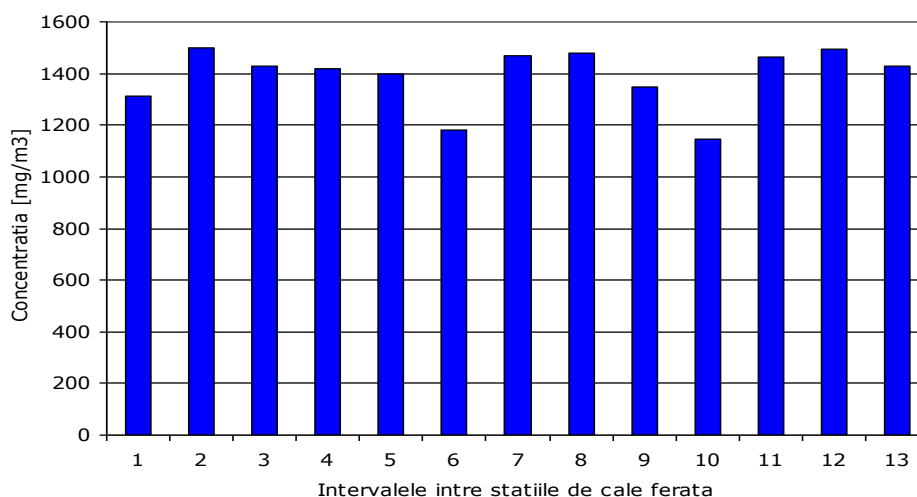


Figura 6.9 Variația concentrației medii de NO_x pe secția Timișoara Nord – Buziaș – Lugoj pentru trenul 9618

Analiza datelor obținute din măsurătorile efectuate pe această secție arată faptul că emisiile de NO_x pe relația Lugoj-Timișoara sunt cu 5,2% mai mici decât în cazul parcurgerii aceleiași ruta în sens invers.

Ca o concluzie generală ce se poate trage prin analiza critică a datelor din măsurătorile efectuate în parcurs pe locomotiva aflată la tracțiunea unui tren de călători este că la turații mici concentrațiile de NO_x emise de locomotiva sunt mai mari decât în cazul funcționării motorului diesel la turații mari (mai mari de 1180 [rot/min]). Acest lucru se datorează sistemului turbo (turbosufanta) care intră în acțiune la turații mari, rezultând astfel o funcționare a motorului cu amestecuri sărace ceea ce înseamnă o reducere a emisiilor de NO_x.

6.3. Contribuții teoretice și experimentale

6.3.1. Contribuții teoretice

1. Parcurgerea critică a literaturii de specialitate din domeniul analizat, menționând sărăcia documentației de specialitate din literatura română pentru domeniul cercetat, motiv pentru care în această lucrare au fost valorificate numeroase surse web, tratate de bază pentru completarea informației disponibile.

2. Analiza metodelor active și pasive de reducere a emisiilor poluante care pot fi utilizate în construcția viitoare sau montarea ulterioară pe materialului rulant de cale ferată.

3. Analiza surselor de poluare și impactul acestora asupra sănătății umane și asupra mediului înconjurător.

4. Stabilirea și respectarea unor regimuri de lucru conform normelor în vigoare.
5. Realizarea unui model matematic pentru calculul arderii.
6. Concepția programului de lucru și de monitorizare pe durata măsurărilor.
7. Proiectarea unui sistem de gestiune a datelor (culegere, transmitere, stocare, prelucrare).
8. Sistematizarea datelor experimentale și generalizarea spre concluzii.

6.3.2. Contribuții experimentale

1. Realizarea unui stand experimental pentru efectuarea testelor în regim static și dinamic a locomotivelor Diesel Hidraulică 125 Szultzer și Diesel Hidraulică 125 Caterpillar.
2. Reglarea parametrilor de funcționarea ale locomotivelor în regim static și dinamic pentru a permite realizarea planului de cercetare.
3. Determinarea efectelor cauzate de încărcarea locomotivelor pe diferite trepte de încărcare în regim static și dinamic asupra nivelului speciilor poluante.
4. Dezvoltarea aplicației software în mediul de programare grafic Labview 8.5 pentru monitorizarea și stocarea datelor în timp real pe durata măsurărilor, a parametrilor termodinamici și emisiilor poluante.
5. Proiectarea și realizarea unui stand experimental în cadrul Facultății de Științe Aplicate – Hochschule Regensburg de monitorizarea reducerii catalitice prin metoda SCR a NO_x la motoare Diesel.
6. Determinarea coeficientului de uniformitate a gazelor de ardere pe suprafața catalizatorului SCR prin măsuratori repetitive și prin simulări numerice.
7. Determinarea gradului de reducere a NO_x prin alterarea dozei de amoniac raportată la concentrația de NO_x (coeficient α).
8. Realizarea aplicației software în mediul grafic de programare Labview 8.5 de impunerea ciclurilor standardizat NRTC pentru motoare Diesel.
9. Măsurători continue a parametrilor termodinamici în regim static (ciclu NRSC) și dinamic (NRTC).

6.4. Originalitatea cercetării (noutăți aduse prin cercetare)

1. Posibilitatea adaptării sistemului SCR pe un vehicul feroviar în vederea reducerii emisiilor de NO_x .
2. Realizarea în premieră pentru UPT a unor măsurători de emisii de NO_x la un vehicul feroviar aflat în exploatare.
3. Modernizarea unui stand de studiere a factorilor ce influențează reducerea catalitică a NO_x și interpretarea rezultatelor.
4. Adaptarea vehiculului feroviar pentru efectuarea de măsurători pentru determinarea concentrațiilor emisiilor de NO_x .

Sunt create premisele continuării cercetărilor în cadrul altor teze de doctorat sau postdoctorale, privind reducerea emisiilor poluante, cogenerarea, sau alte metode de reducere (ex. SNCR) a concentrației emisiilor produse de locomotivele diesel aflate în exploatare fiind teme pentru viitoare cercetări.

LISTA FIGURILOR

- Figura 1.1. Locomotiva Locomotion nr. 1
- Figura 1.2. Locomotiva *Big Boy*
- Figura 1.3. Trenul TALGO
- Figura 1.4. Locomotiva Centennial
- Figura 1.5. Mobilitatea globală a persoanelor în perioada 1850-2010
- Figura 1.6. Mobilitatea globală a mărfurilor în perioada 1850-2010
- Figura 1.7. Rețeaua de căi ferate din România
- Figura 1.8. Coridoarele pan-europene cu tranzit prin România
- Figura 1.9. Locomotiva diesel-electrică DE-241
- Figura 1.10. Locomotiva diesel-electrică românească 060-DA
- Figura 1.11. Locomotiva diesel-hidraulică LDH 125
- Figura 1.12. Lungimea totală a liniilor de cale ferată și lungimea liniilor electrificate
- Figura 1.13. Densitatea rețelelor de cale ferată pe țări respectiv regiuni în UE
- Figura 1.14. Terminal RO-LA
- Figura 1.15. Anomalia temperaturii datorate încălzirii globale
- Figura 2.1. Emisii provenite de la vehicule feroviare
- Figura 2.2. Pădure afectată de ploii acide
- Figura 2.3. Ponderea emisiilor de CO de la diferite surse
- Figura 2.4. Distribuția emisiilor de SO₂ de la diferite surse
- Figura 2.5. Distribuția emisiilor de Pb de la diferite surse de emisie
- Figura 2.6. Arderea reală a combustibililor
- Figura 3.1. Compoziția medie a gazelor de ardere a unui motor Diesel cu injecție directă
- Figura 3.2. Dependența concentrației de poluanți în funcție de coeficientul excesului de aer (λ) pentru un motor diesel cu injecție directă
- Figura 3.3. Sistem de recircularea a gazelor de ardere (EGR)
- Figura 3.4. Injector fin acționat de sistem common-rail
- Figura 3.5. Motor cu cameră de vârtej
- Figura 3.6. Structura unui oxidator catalitic
- Figura 3.7. Catalizator de stocare, Amestecul dispersat al componentelor
- Figura 3.8. Sistem de Reducere Catalitică (SCR)
- Figura 3.9. Vedere interioară printr-un sistem SCR
- Figura 3.10. Diferite structuri de canale din catalizator
- Figura 3.11. Sistem de reducere non-catalitică (SNCR)
- Figura 3.12. Schema de proiectare a filtrului de particule diesel
- Figura 4.1. Motorul diesel
- Figura 4.2. Dinamometru Schenk
- Figura 4.3. Sistemul de evacuare
- Figura 4.4. Sistemul de măsurare a concentrației de noxe în puncte
- Figura 4.5. Sistemul de inecție AdBlue
- Figura 4.6. Sistemul de dozare a soluției AdBlue
- Figura 4.7. Poziționarea diferiților senzori în sistemul de evacuare
- Figura 4.8. Configurația sistemului de evacuare înainte catalizatorului DOC
- Figura 4.9. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.1

- Figura 4.10. Constrictor al gazelor de ardere folosit și amplasat înaintea injectorului de AdBlue
- Figura 4.11. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.2
- Figura 4.12. A) Constrictor al gazelor de ardere cu palete pentru mixare și B) amplasarea constrictorului cu palete înaintea injectorului de AdBlue
- Figura 4.13. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.3
- Figura 4.14. Amplasarea injectorului și a post mixerului în sistemul de evacuare
- Figura 4.15. Post mixer al gazelor de ardere cu soluția de AdBlue
- Figura 4.16. Distribuția concentrațiilor emisiilor de NO_x conform configurației nr.3
- Figura 4.17. Locomotiva LDH 125
- Figura 4.18. Motor diesel tip 6 LDA 28 B
- Figura 4.19. Schema cinematică a transmisiei hidraulice pentru LDH 125
- Figura 4.20. Locomotiva LDH de 1360 CP
- Figura 4.21. Schema cinematică a transmisiei hidraulice pentru LDH 1360 CP
- Figura 4.22. Schema termocuplului
- Figura 4.23. Curbele de etalonare a termocuplelor
- Figura 4.24. Punctul de măsurare a temperaturii
- Figura 4.25. Termocuplul pentru gaze
- Figura 4.26. Dimensiuni caracteristice ale convertorului
- Figura 4.27. Diagrama cu schema pinilor convertorului analogic-digital tip Pixsys ATR 243 ABC
- Figura 4.28. Exemplu de vizualizare a temperaturilor cu convertorul Pixsys ATR 243 ABC
- Figura 4.29. Meniul principal
- Figura 4.30. Screenshot privind meniul principal în cazul în care programul este activ
- Figura 4.31. Interfața „Monitorizare”
- Figura 4.32. Fișierul final forma de prezentare a datelor
- Figura 4.33. Programul în Labview al interfeței „Meniu Principal”
- Figura 4.34. Campanie măsurători în regim static: a) locomotiva diesel hidraulică 125 și b) locomotiva diesel hidraulică 125 modernizată
- Figura 4.35. Unitatea de analiză, vedere laterală
- Figura 4.36. Unitatea de analiză, vedere de sus
- Figura 4.37. Unitatea de control a instrumentului TESTO
- Figura 4.38. Montaj de interconectare a aparatelor tip TESTO, pentru măsurători continue complexe
- Figura 4.39. Sonda de prelevare a gazelor - operează la temperaturi de maxim 1200 °C
- Figura 4.40. Screenshot ce indică momentul de calibrarea la zero a analizorului
- Figura 4.41. Display, Testo 350
- Figura 4.42. Display al ecranului specific bazei de alegere a combustibilului
- Figura 4.43. Display indicând posibilitate de setarea parametrilor și unităților de măsură [136]
- Figura 4.44. Locul montării senzorului
- Figura 4.45. Unitatea de control a senzorului
- Figura 4.46. Ciclu dinamic (NRTC)
- Figura 5.1. Ciclul de funcționare NRTC
- Figura 5.2. Porțiune detaliată din ciclul NRTC
- Figura 5.3. Valoarea medie a concentrației de NO_x

- Figura 5.4. Concentrația emisiilor de NO_x pe intervalul 700 [s] – 800 [s]
Figura 5.5. Concentrația emisiilor de NO_x pe intervalul 720 [s] – 740 [s]
Figura 5.6. Ciclul NRTC – rulare 1, motor rece
Figura 5.7. Variația temperaturii gazelor de eșapare, rulare 1
Figura 5.8. Ciclu NRTC – rulare 2, motor cald
Figura 5.9. Variația temperaturii gazelor de eșapare, rulare 2
Figura 5.10. Valorile test variație coeficient α
Figura 5.11. Variația concentrației și temperaturii pe cele cinci trepte de încărcare
Figura 5.12. Variația consumului de combustibil
Figura 5.13. Variația concentrației și temperaturii pe cele cinci trepte de încărcare
Figura 5.14. Variația sarcini motorului și a consumul de combustibil
Figura 5.15. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Lugoj Nord
Figura 5.16. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj N-Coșteiul Mare
Figura 5.17. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiul Mare-Păru
Figura 5.18. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Păru-Baliuț
Figura 5.19. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Baliuț-Nevrincea
Figura 5.20. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nevrincea-Cliciova
Figura 5.21. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Cliciova-Susani Bega
Figura 5.22. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Susani Bega-Traian Vuia
Figura 5.23. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Traian Vuia-Mănăstur
Figura 5.24. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mănăstur-Răchita
Figura 5.25. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Răchita-Făget
Figura 5.26. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Făget-Margina
Figura 5.27. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Margina-Nemeșești
Figura 5.28. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nemeșești-Coșteiu de Sus
Figura 5.29. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu de Sus-Coșteiu
Figura 5.30. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu-Holdea
Figura 5.31. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Holdea-Ohaba
Figura 5.32. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ohaba-Lăpugiu
Figura 5.33. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lăpugiu-Canton trecere nivel calea ferată
Figura 5.34. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Canton trecere nivel calea ferată-Dobra
Figura 5.35. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Dobra-Ilia
Figura 5.36. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ilia-Breteea Mureșană
Figura 5.37. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bretea Mureșană-Brănișca
Figura 5.38. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Brănișca-Vețel
Figura 5.39. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Vețel-Mintia h
Figura 5.40. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia h-Mintia
Figura 5.41. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia-Deva
Figura 5.42. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Deva-Săulești
Figura 5.43. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Săulești-Simeria
Figura 5.44. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Simeria-Deva
Figura 5.45. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Deva-Mintia
Figura 5.46. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia-Mintia h
Figura 5.47. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mintia h-Vețel
Figura 5.48. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Vețel-Brănișca

- Figura 5.49. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Brănișca-Breteia Mureșană
- Figura 5.50. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bretea Mureșană-Ilia
- Figura 5.51. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ilia-Dobra
- Figura 5.52. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Dobra-Canton tecere nivel cu calea ferată
- Figura 5.53. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Canton trecere nivel cu calea ferată-Lăpugiu
- Figura 5.54. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lăpugiu-Ohaba
- Figura 5.55. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Ohaba-Holdea
- Figura 5.56. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Holdea-Coșteiu
- Figura 5.57. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu-Coșteiu de Sus
- Figura 5.58. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiu de Sus-Nemeșești
- Figura 5.59. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nemeșești-Margina
- Figura 5.60. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Margina-Făget
- Figura 5.61. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Făget-Răchita
- Figura 5.62. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Răchita-Mănăstur
- Figura 5.63. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Mănăstur-Traian Vuia
- Figura 5.64. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Traian Vuia-Susani Bega
- Figura 5.65. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Susani Bega-Cliciova
- Figura 5.66. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Cliciova-Nevrincea
- Figura 5.67. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Nevrincea-Balinț
- Figura 5.68. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Balinț-Păru
- Figura 5.69. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Păru-Coșteiul Mare
- Figura 5.70. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Coșteiul Mare -Lugoj Nord
- Figura 5.71. Variația concentrației și temperaturii între stațiileLugoj Nord-Lugoj
- Figura 5.72. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Boldur
- Figura 5.73. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Boldur-Sinia
- Figura 5.74. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sinia-Căpăt
- Figura 5.75. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Căpăt-Buziaș
- Figura 5.76. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Buziaș-Bacova
- Figura 5.77. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bacova-Chevereș
- Figura 5.78. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Chevereș-Sacoșu Mic
- Figura 5.79. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sacoșu Mic-Uliuc
- Figura 5.80. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Uliuc-Urseni
- Figura 5.81. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Urseni-Seminic
- Figura 5.82. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Semenic-Giroc
- Figura 5.83. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Giroc-Timișoara Sud
- Figura 5.84. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Timișoara Sud-Timișoara Nord
- Figura 5.85. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Timișoara Nord-Timișoara Sud
- Figura 5.86. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Timișoara Sud-Giroc
- Figura 5.87. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Giroc-Semenic
- Figura 5.88. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Semenic-Urseni
- Figura 5.89. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Lugoj Nord
- Figura 5.90. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Uliuc-Chevereș

- Figura 5.91. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sacoșu Mic-Cheveres
Figura 5.92. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Cheveres-Bacova
Figura 5.93. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Bacova-Buziaș
Figura 5.94. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Buziaș-Căpăt
Figura 5.95. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Căpăt-Sinia
Figura 5.96. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Sinia-Boldur
Figura 5.97. Variația concentrației și temperaturii între stațiile Lugoj-Lugoj Nord
Figura 6.1. Variația concentrației de NO_x în cele două stări ale motorului
Figura 6.2. Variația concentrației de NO_x la turația constantă de $n=1900$ [rot/min]
Figura 6.3. Variația concentrației de NO_x la turația constantă de $n=1500$ [rot/min]
Figura 6.4. Variația emisiilor și temperaturii pe treptele de încărcare în funcție de turația motorului diesel la locomotiva LDH 125
Figura 6.5. Variația emisiilor și temperaturii pe treptele de încărcare în funcție de turația motorului diesel la locomotiva LDH 125 modernizată Caterpillar
Figura 6.6. Variația concentrației medii de NO_x pe secția Lugoj - Făget - Simeria pentru trenul 2182
Figura 6.7. Variația concentrației medii de NO_x pe secția Simeria - Făget - Lugoj pentru trenul 2185
Figura 6.8. Variația concentrației medii de NO_x pe secția Lugoj - Buziaș - Timișoara Nord pentru trenul 9611
Figura 6.9. Variația concentrației medii de NO_x pe secția Timișoara Nord - Buziaș - Lugoj pentru trenul 9618

LISTA TABELELOR

- Tabelul 2.1. Emisiile standardelor Stage I/II pentru motoarele diesel nonroad
- Tabelul 2.2. Stadarul Stage IIIA pentru motoare nonroad
- Tabelul 2.3. Stadarul Stage IIIB pentru motoare nonroad
- Tabelul 2.4. Stadarul Stage IV pentru motoare nonroad
- Tabelul 2.5. Stadarul Stage IIIA pentru tracțiunea feroviară [100]
- Tabelul 2.6. Stadarul Stage IIIB pentru tracțiunea feroviară [100]
- Tabelul 2.7. Modul de încercare a motoarelor din clasa B în ciclu NRSC
- Tabelul 2.8. Grupele substanțelor cu efect cancerigen
- Tabelul 2.9. Efectele unor poluanți asupra omului
- Tabelul 2.10. Rezultatele calculului arderii pentru combustibilul de bază (motorină) și cinci încărcări.
- Tabelul.3.1. Reducerea emisiilor poluante prin utilizarea combustibililor de tip biodiesel
- Tabelul 4.1. Date caracteristice ale dinamometrului
- Tabelul 4.2. Distribuția și coeficientul de uniformitate al gazelor de evacuare pe suprafața DOC și SCR
- Tabelul 4.3. Caracteristicile locomotivei diesel hidraulice de 1250 CP
- Tabelul 4.4. Caracteristicile locomotivei diesel hidraulice de 1360CP
- Tabelul 4.5. Caracteristici generale ale convertorului analogic-digital tip Pixsys ATR 243 ABC
- Tabelul 4.6. Caracteristicile hardware ale convertorului analogic-digital tip Pixsys ATR 234 ABC
- Tabelul 5.1. Ciclu NRSC C1
- Tabelul 5.2. Valori ciclu NRSC cu motor rece
- Tabelul 5.3. Valori ciclu NRSC cu motor cald
- Tabelul 5.4. Valori finale test ciclu NRSC

NOTAȚII

UE	[-]	Uniunea Europeană
TALGO	[-]	Tren Articulado Ligero Goicoechea Oriol
TGV	[-]	Train à Grande Vitesse
CFR	[-]	Căile Ferate Române
CF	[-]	Cale Ferată
RO-LA	[-]	Transport combinat pentru autotrenuri, Rollenden Landstraße
CE	[-]	Comunitatea Europeană
TEN-T	[-]	Rețeaua trans-Europeană de transport
ETCS	[-]	Sistemul European pentru Controlul Trenurilor
WIT	[-]	Vagon pentru încălzit trenul
CN „CFR”	[-]	Compania Națională de Căi Ferate Române
LDH	[-]	Locomotivă Diesel Hidraulică
UIC	[-]	Uniunea Internațională a Căilor Ferate
ERTMS	[-]	Sistemul European de Management al Traficului Feroviar
CEEC	[-]	Combustion Engine and Emission Control
NO _x	[-]	Oxizi de azot
CO ₂	[-]	Dioxid de carbon
IPPC	[-]	Prevenirea și controlul integrat al poluarii
BAT	[-]	Cele mai bune tehnici disponibile
O ₂	[-]	Oxigen
O ₂	[%]	Concentrația masică de oxigen
O _{2ref}	[%]	Concentrația masică de oxigen de referință
SCR	[-]	Reducere catalitică selectivă
SNCR	[-]	Reducere noncatalitică selectivă
P	[kW]	Puterea
CO	[g/kWh]	Cantitatea de monoxid de carbon emisă
HC	[g/kWh]	Cantitatea de hidrocarburi emisă
PM	[g/kWh]	Cantitatea de particule emisă
NO _x	[g/kWh]	Cantitatea de oxizi de azot emisi
EPA	[-]	Agenția pentru protecția mediului înconjurător din America
NRTC	[-]	Ciclu nonrutier tranzitoriu (dinamic)
NRSC	[-]	Ciclu nonrutier static
NAAQS	[-]	Standardele naționale pentru calitatea aerului ambiental

m.a.c.	[-]	Motoare cu ardere prin comprimare
m.a.i.	[-]	Motoare cu ardere internă
NO	[-]	Monoxid de azot
SO _x	[-]	Oxizi de sulf
SO ₃	[-]	Anhidrida
SO ₂	[-]	Dioxid de sulf
COV	[-]	Compuși organici volatili
PAH	[-]	Hidrocarburile aromatice policiclice
IARC	[-]	Agenția Internațională de Cercetare a Cancerului
O ₃	[-]	Ozon
HC	[-]	Hidrocarburi
CH ₄	[-]	metan;
N ₂ O	[-]	protoxid de azot ;
CO	[-]	monoxid de carbon;
C _n H _m	[-]	hidrocarburi;
NO ₂	[-]	dioxid de azot;
λ	[-]	coeficientul excesului de aer;
CO _{2,max}	[%]	valoarea maximă de CO ₂ , specifică combustibilului;
w	[m/s]	viteza de curgere a gazelor;
p	[Pa]	presiunea absolută;
Δp	[Pa]	variația presiunii dinamice;
α	[-]	factorul adimensional specific tubului Pitot;
c	[%]	participația procentuală a carbonului;
h	[%]	participația procentuală a hidrogenului;
o	[%]	participarea procentuală a oxigenului;
s	[%]	participarea procentuală a sulfului;
L ^{min}	[m ³ _N /kg]	aerul minim necesar arderii;
L	[m ³ _N /kg]	cantitatea reală de aer;
V _{CO₂}	[m ³ _N /kg]	cantitatea de dioxid de carbon;
V _{SO₂}	[m ³ _N /kg]	cantitatea de dioxid de sulf;
V _{O₂}	[m ³ _N /kg]	cantitatea de oxigen;
V _{N₂}	[m ³ _N /kg]	cantitatea de azot, provenit atât din azotul din combustibil, cât și din azotul din aerul introdus în ardere, în condiții normale;
ρ _{aer} ⁰	[kg/m ³ _N]	densitatea aerului uscat, în condiții normale;
ρ _{H₂O} ⁰	[kg/m ³ _N]	densitatea vaporilor de apă, în condiții normale;
d	[g/kg aer]	conținut de umiditate în aer;

	uscat]	
V_{gu}	$[m^3_N/kg]$	volumul gazelor de ardere uscate;
V_{gt}	$[m^3_N/kg]$	volumul total al gazelor de ardere;
c_e	[%]	participarea procentuală masică a carbonului din combustibilul echivalent;
h_e	[%]	participarea procentuală masică a hidrogenului din combustibilul echivalent;
o_e	[%]	participarea procentuală masică a oxigenului din combustibilul echivalent;
CC	[-]	Cifra cetanica
EGR	[-]	Recircularea gazelor de ardere
ECU	[-]	Unitatea de control a motorului
DOC	[-]	Oxidator catalitic (Diesel Oxidation Catalyst)
CRT	[-]	Sistem de captare cu regenerare continuă
α	[-]	Coeficient de dozare (AdBlue)
AdBlue	[-]	Substanță reductoare cu 32,5% uree, restul fiind apă distilată
p	[bar]	Presiunea statică
T	[°C]	Temperatura
ISO	[-]	Organizația Internațională pentru Standardizare

BIBLIOGRAFIE

1. *** Aer din zonele poluate. Condiții de calitate, STAS 12574-87
2. *** Analele CFR, 1947-1951
3. *** Instrucția de remorcare și frânare Nr. 6, Ministerul transporturilor, Direcția generală tracțiune și vagoane, Centrul de documentare și publicații tehnice Ministerul Transporturilor, 1970
4. *** Legea Protecției Mediului (nr. 137) în România. Monitorul Oficial al României, Anul VII nr. 304/30.12.1995
5. *** Manual de utilizare TESTO 350 M/XL
6. *** Manual utilizare Locomotiva Diesel Hidraulica LDH 125 modernizată
7. *** Manualul de utilizare convertor Digital Pixisys ATR 243 ABC.
8. *** Official Journal of the European Union, Emission non-roads legislation
9. *** Raport privind situația parcului de locomotive, automotoare și rame electrice aparținând "SNTFC CFR CĂLĂTORI"
10. *** Raport privind situația parcului de locomotive, automotoare și rame electrice aparținând "SNTFM CFR MARFĂ"
11. *** Raport activitate CN CFR SA, 2006
12. *** Raport activitate CN CFR SA, 2007
13. *** Raportul CE privind încălzirea globală cu efect asupra relațiilor economice între Rusia și NATO, Bruxelles, 2008, www.madiafax.ro
14. *** Pilot technology and installation to obtain a diesel fuel reformulated by catalytic treatment of non-additive diesel oil with hydrogen enriched gas, Program Energie - FP7; EUREKA; EUROSTARS, www.rai.com.ro/pdf/PartnerSearchCOMBDIEREF-romana.pdf
15. *** Politica în domeniul transporturilor, Formare inițială în afaceri europene pentru funcționarii publici din administrația publică centrală, Seria Micromonografii - Politici Europene, 2005
16. *** Prevenirea și Controlul Integrat al Poluării (IPPC), Document de Referință asupra Celor Mai Bune Tehnici Disponibile pentru Instalațiile Mari de Ardere, Sevilla, Mai 2005
17. *** Volkswagen AG: Der 1.6l-TDI-Motor mit Common-Rail-Einspritzsystem,
18. Apostolescu N., Chiriac, R., Procesul arderii în motorul cu ardere internă. Economia de combustibil. Reducerea emisiilor poluante, Editura Tehnică București, 1998
19. Apostolescu N., Aramă C., Grunwald B., Poluarea aerului de către motarele cu ardere internă, Ed. Tehnică, București, 1975
20. Balogh, R., Proiectarea restructurării activității stației C.F.R. Lugoj în condițiile închiderii circulației pe secția Timișoara Nord – Remetea Marea – Receaș – Lugoj, Lucrare de licență, 2008
21. Balogh R., Ionel I., Varga L., Dungan L., Contribution regarding the impact generated by the romanian national railway sistem on air quality, metalurgia International vol. XV (2010), Special Issue no. 6, ISSN 1582-2214, pag 46-56

22. Balogh R., Lontiş N., IoneI. I, Dungan L, Comparison study of the diesel hydraulic engine locomotives 1250 horse power and diesel hydraulic engine locomotives 1000 kW exhaust gases regarding the environmental pollution, Re NO 1693/28.10.2009 va fi publicată în Vol 3A din 12 (2011) în Journal of Environmental Protection and Ecology.
23. Balogh R., Ionel I., Dungan L., Impactul asupra mediului al gazelor de esapare in cazul locomotivei diesel hidraulice de 1000 kW, Metalurgica nr 11, pag. 29-33, ISSN 0461-9579
24. Balogh R., Ione I. I, Stepan D., Lontis N., SCR system applied on off road vehicle to reduce NOx, The 35th Annual Congress of the American Romanian Academy of arts and Sciences (ARA), Proceedings, ISBN 978-1-935924-01-2, ISBN 978-2-553-01596-0, pag 213-216
25. Balogh R., Ionel I., Dungan L., Stepan D., Transport urban ecologic, Buletin AGIR, ISSN 1224-7928, anul XIV, nr. 1-2, aprilie-septembrie 2009, pp 141-144;
26. Balogh R., Cercetări experimentale privind nivelul poluării fonice și chimice la locomotivele LDH de 1250 CP și LDH de 1000 kW, Lucrare de licență, 2009
27. Bârdan V., Influența transporturilor rutiere asupra mediului. Revista Economie și Sociologie, nr. 1, 2009, p. 99-112
28. Baumach, G., Luftreinhaltung. Entstehung, Ausbreitung und Wirkung von Luftverunreinigungen, 2 Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1992
29. Becker, Jens: Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüfstandes für Dosiersysteme; Dortmund, 2005
30. Bonta, D., Locomotiva diesel electrică de 2100 CP, Editura ASAB, ISBN 973-86010-9-6, București 2003
31. Boudali Khalfallah L., Ghorbel, A., and Grange P., Selective catalytic reduction of NO by NH3 on sulfated titanium-pillared clay, Catalysis Letters Vol. 86, No. 4, March 2003
32. Budzikiewicz, H., Massenspektrometrie. Eine Einführung, Verlag Chemie Physik, 1987
33. Carl Schenk AG: Handbuch Wirbelstrom-Leistungsbremse – Schenk W 230, Darmstadt, 1988
34. Cheșa, A., Locomotiva diesel hidraulică de 1250 CP, Ed. ASAB, ISBN 973-95247-4-1, București, 2001
35. Egybazy T., Tac C., Kovacs J. and Redey A., Investigations on the selectivity of catalytic no reduction by ammonia, Akademiai Kiado, Budapest, 1999, Vol. 67, No.1, 75-82
36. Ehrlich R., ș.a., Chronic Toxicity of nitrogen dioxide, Arch. Environmental Health, p 860-865, 1968
37. Gavrilaş,A., Marius Doliş, Ecologie si protectia mediului, Editura Alfa, Iasi, 2006
38. Gia V., Gaba V., Poluarea aerului prin arderea combustibililor fosili, Editura AGIR, București, 2000
39. Forstner, U., Umweltschutztechnik, Vierte Auflage, Springer Verlag, New York Berlin Heidelberg, 1992
40. Götz Jürgen, Experimentelle Untersuchungen an einem Dieselmotor zur Reduzierung limitierter Schadstoffe, Lucrare de disertație
41. Ghita E., Balogh R., An alorithm for the estimation of the position of the center of oscilation from a bogie, Scientific bulletin of the "POLITEHNICA"

- Univerity of Timisoara, Romania, Tomul 54(68), fascicola 1, 2009, ISSN 1224-6077, pag 77-80;
42. Ghita E., Vilceanu L., Balogh R., Dobra M., An experimental analysis about the fracture of the wheelset-axles of the 5100 kW electric locomotive, International Symposium "Interdisciplinary Regional Research" Proceedings, Hunedoara, Romania, Acta Technica Corviniensis-Annals of faculty engineering Hunedoara – International journal of engineering ISSN: 1584-2665, 23-24 aprilie, 2009, pag 37-40;
 43. Grunwald, B., Apostolescu N., Aramă, C., Poluarea aerului de către motarele cu ardere internă, Editura Tehnică, București, 1975
 44. Heinrich Schmid, German Weisser, Marine Technologies for Reduced Emissions, Wärtsilä Switzerland Ltd, Winterthur
 45. Held W., Emmerling G., Döring A., Richter K., Jacob E., Scheeder A., Müller R., Brück R., Catalyst Technologies for Heavy-Duty Commercial Vehicles Following the Introduction of EU VI and US2010; The Challenges of Nitrogen Oxide and Particulate Matter Reduction for Future Engines, MAN Nutzfahrzeuge AG, Nuremberg and Steyr und Emitec GmbH, Lohmar, 28th International Vienna Motor Symposium 2007
 46. Heck, R., Farrauto R., Catalytic air pollution control, Commercial Technology, ISBN 0-442-01782-0, Van Nostrand Reinhold, 1995
 47. <http://www.betamarinenw.com/Engines/BetaMarineBZ482.html>
 48. <http://www.biodieselmagazin.ro/revista/>
 49. <http://danyrolux.blogspot.com/2010/10/motorul-fsi-in-detaliu.html>
 50. http://www.hitachi-c-m.com/asia/products/excavator/wheel/zx210w-3/feature_1.html
 51. <http://www.chemie-am-auto.de/abgase/index2.htm>
 52. www.ceasulcuc.ro/blog/wp-content/uploads/2010/07/8.ploi-acide-padure.jpg
 53. <http://www.epa.gov/oaqps001/emissns.html>
 54. http://ro.wikipedia.org/wiki/Încălzirea_globală
 55. <http://freelex.juridic.ro>
 56. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
 57. http://ec.europa.eu/transport/index_en.htm
 58. <http://www.efimera.org/anotaciones/todo-lo-demas-era-paleontologia>
 59. <http://www.epa.ie/whatwedo/climate/thekyotoprotocol/>
 60. <http://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>
 61. http://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust_gas_recirculation
 62. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Locomotion1.jpg>
 63. http://ro.wikipedia.org/wiki/Fi%C8%99ier:UP_Big_Boy_4014.jpg
 64. <http://infrastructura-romania.blogspot.com/2008/08/coridorul-iv-pan-european.html>
 65. http://ro.wikipedia.org/wiki/Istoria_locomotivei_Diesel
 66. <http://www.scribd.com/doc/3204977/Transporturi-feroviare-trecut-si-prezent>
 67. <http://www.mangus.ro/pdf/Biodiesel%20introduction%20to%20omania%20-%20public.pdf>
 68. <http://ro.wikipedia.org/wiki/Fi%C8%99ier:UP6936.jpg>
 69. <http://www.uprr.com/aboutup/history/loco/locohs03.shtml>
 70. http://ro.wikipedia.org/wiki/Locomotiv%C4%83_cu_abur
 71. http://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust_gas_recirculation
 72. <http://www.calitateaer.ro/parametri.php>

73. <http://www.matthey.com>
74. Ionel, I., Ungureanu, Bisorca, D., C., *Termoenergetica și mediul*, Editura Politehnica, Timișoara, 2006, ISBN (10) 973-625-387-2
75. Ionel I., *Greenenergy (Energy optimisation in European greenhouses)*, Proiect FP6 - CT 2005-2007 , Contract COLL CT
76. Ionel, I., Ungureanu, C., *Centrale termoelectrice. Cicluri termodinamice avansate*, Ed. Politehnica, Timișoara, 2004
77. Ionel, I., Popescu, F., *Introducere în termotehnică*, Editura Politehnica, Timișoara, 2007
78. Ionel, I., Lontiş, N., ș.a., *Alternative fuels the energy of the future*, International Conference HME 2008, Editura Politehnica, Timișoara, 2008, ISSN 1224-6077, pp 493-498
79. Jacob, E.; *Perspektiven der mobilen SCR-Technik*, Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentchnik, Aachen, 2006
80. Klaus Mollenhauer, Helmut Tschöke, *Handbuch Dieselmotoren*, ISBN 978-3-540-72164-2 Springer Berlin Heidelberg New York
81. Käfer, S.: *Trockenharnstoff-SCR-System und Betriebsstrategie für Fahrzeuge mit Dieselmotor*, Dissertation; Universität Kaiserslautern, 2004
82. Keeler B., *Constraints on the Operation of a DI Diesel Engine in Partially-premixed Combustion Mode*, The University of Nottingham, May, 2009
83. Lontiş, N., *Cercetări teoretice și experimentale privind cogenerarea cu motor m.a.i., funcționând cu bio-combustibil*, Teze de doctorat, ISBN 978-973-625-766-7, Editura Politehnica, Timișoara, 2008
84. Matyshak V. A., Tret'yakov V.F., *Role of Surface Structures on the Selective Reduction of Nitrogen Oxides with Hydrocarbons on Oxide Catalysts*, Russian Journal of General Chemistry, 2009, Vol. 79, No. 6, pp. 1400–1411, ISSN 1070-3632
85. Mauro F. Guillén (2005), *The rise of Spanish multinationals: European business in the global economy*, Cambridge, ISBN 10 0 521 84721 4
86. McMichael, A.J., Campbell-Lendrum, D.H., Corvalán, C.F., Ebi, K.L., Githeko, A., Scheraga, J.D. and Woodward, A., *Climate Change and Human Health – Risk and Responses*, World Health Organization, Geneva, 2003
87. Medeleanu V., *Contribuții privind depoluarea atmosferei de oxizi de azot reziduali*. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Timișoara, 1983
88. Miller C., *Auslegung, Simulation und Aufbau eines SCR-bgasnachbehandlungs-systems mit AVL FIRE® für OFF-Highway-Anwendungen*, Masterarbeit, 2010.
89. Mollenhauer, K., Tschöke, H., *Handbuch Dieselmotoren*, neubearbeitete Auflage, Springer Verlag, 2007, ISBN 978-3-540-72164-2
90. Nae T-R., *Creșterea rolului transporturilor de mărfuri – implicații în cadrul logisticii*. Revista Amfiteatru economic, Nr. 24/2008, p. 210-223
91. Nagi M., Negoitescu A., *Calculul instalațiilor termice Vol I*, ISBN 973-97754-9-7, Editura Murgu, 1998
92. Negrea, V., D., *Procese în motoarele cu ardere internă. Economicitate. Combaterea poluării*, Vol I, Editura Politehnica, 2001
93. Parks J., Tassitano J., Storey J., *Lean NOx Trap Catalysis*, Oak Ridge National Laboratory, 2005
94. Pia Kilpinen, Åbo Akademi Process Chemistry Group Laboratory for Industrial Chemistry, Wärtsilä, *NOx emission formation in marine diesel engines – towards a quantitative understanding*,

95. Pischinger, S.: Verbrennungskraftmaschinen II, Vorlesungsskript, Technische Hochschule Aachen, 2005
96. Panait, T., ș.a., Application de l'analyse d'exergie à l'étude des systèmes thermoelectrotechnique complexes, Travaux du Colloque Franco-Roumain COFRET 04, Nancy, France, avril 2004, pp. 68-71
97. Popa, M., ș.a., Motoare Diesel. Procese Vol I și II, Ed. Matrixrom, București, 2003
98. Rabl, H.P., Verbrennungsmotoren, Hochschule Regensburg, 2009
99. Rabl, H.P., Skript und Umdrucke zur Vorlesung Verbrennungsmotoren, Fakultät Maschinenbau, Hochschule Regensburg, 2010
100. Richard Gilbert and Anthony Perl, Transport Revolutions, Earthscan, London, Sterling, 2008, ISBN 978-1-84407-248-4
101. Robert Bosch GmbH: Dieselmotormanagement, Auflage. Vieweg Verlag, 2002
102. Rudolph, F.; Hadler, J.: Der neue 1.6l TDI-Motor von Volkswagen, 30 Internationales Wiener Motorensymposium, 2009
103. Schwab, A.W., Bagbym, M.O., Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils, Fuels, 66, 1987, 1372-1378
104. Simescu, N., Perspectiva dezvoltării industriei gaziere din România în contextul resurse-productie-transport-inmagazinare-distributie gaze naturale, între anii 2000-2010-2020, Ed. Universitatii "Lucian Blaga", Sibiu, 1998
105. Smith R.A., Global Environmental Challenges and Railway Transport, nr. 18, Decembrie 1998.
106. Speckner M., Experimentelle Untersuchungen an einem Selective Catalytic Reduction (SCR) - System für Diesel Motoren, Diplomarbeit
107. Stepan, D., Cercetări teoretice și experimentale privind optimizarea izolării fonice în transporturile feroviare, Teze de doctorat, ISBN 978-973-625-834-3, Editura Politehnica, Timișoara, 2009
108. Steve, Howell, Weber, J., Alan, Biodiesel Use in Underground Metal and Non-metal Mines
109. Sydbom A, Blomberg A, Parnia S, Stenfors N, Sandstrom T, Dahlen SE. Health effects of diesel exhaust emissions. Eur Respir J. 2001;17(4):733-46.
110. Vafidis C., Piccinini, A., Variable, L., Valve evacuation for in-cylinder charge and combustion control in D.I. diesel engines, IFP International Congress, A new generation of engine combustion processes for the future, Paris, 2001, pp. 25-34
111. Traistaru A., Balogh R., Dungan L., Influența rezistenței de izolație a balastului asupra funcționării circuitului de cale, Buletin AGIR, ISSN 1224-7928, anul XIV, nr. 1-2, aprilie-septembrie 2009, pp 152-154;
112. Todd J., Sougato C., Conway R, and Walker A., Development of Partial Filter Technology for HDD Retrofit, SAE International, 2005
113. Tudor A.; Huiet A.; Balogh R., Influența asupra calității traficului rutier a transportului vehiculelor auto de mare tonaj pe calea ferată, Buletin AGIR, nr. 2-3, 2010, aprilie septembrie, pag 140-145, ISSN-L 1224-7928
114. Van Eickels B., Dummann H.P., Pace A., Reck A., Innovative Metallic Substrate Technology to Meet Future Emission Limits, 2007 Society of Automotive Engineers of Japan, SAE International 2007
115. Wilhelm, Müller, ș.a., Selective Catalytic Reduction - Europe NOx reduction Technology
116. www.thermocouple-characteristics.com/php/Ktype.pdf

194 Bibliografie

117. www.evz.ro
118. www.corning.com/images/environmentaltechnologies/ectm/large_illustration.jpg
119. [www.volkswagen.ro/despre_volkswagen/inovatii/motoare/sisteme_de_injec_ie/ sisteme_de_injec_ie/](http://www.volkswagen.ro/despre_volkswagen/inovatii/motoare/sisteme_de_injec_ie/sisteme_de_injec_ie/)
120. Xin Zhang, Xiaogang Li, Junsheng Wu, Renchun Yang, Zihua Zhang, Selective Catalytic Reduction of NO by Ammonia on V₂O₅/TiO₂ Catalyst Prepared by Sol-Gel Method, Springer Science+Business Media, 2009

INDEX

A

activităților antropice 34
AdBlue.. 7, 71, 80, 81, 86, 88, 89, 91, 128, 129,
133, 184, 194, 202
aer-carburant 68, 70
agenților poluanți..... 18
amestec. 48, 49, 59, 63, 67, 71, 72, 80, 88, 89,
135, 186
anomalia temperaturii..... 32
ardere în strat fluidizat..... 35
arderea combustibilului..... 35
automotoarelor feroviare..... 38

B

bioxidul de carbon..... 42

C

canale din catalizator 75, 193
Catalizator de stocare 69, 70, 193
Catalizatorul selectiv de reducere . 6, 70
Caterpillar..... 8, 96, 97, 98, 99, 123, 136, 138,
187, 188, 191, 197
căii ferate..... 10
CFR Călători..... 26, 123
Ciclu NRSC 121, 131, 199
Ciclu NRTC..... 121
Ciclu tranzitoriu nonrutiere 39
coeficientului de dozare..... 8, 133
combustibilului.. 53, 63, 64, 66, 67, 115, 116,
119, 130, 184, 195, 201
combustie ... 46, 58, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
69, 130, 184
Combustion Engine and Emission
Control..... 2, 32, 77, 200
Common Rail 66
concentrației de CO₂..... 42
concentrații 43, 44, 46, 48, 50, 52, 57, 91,
120, 128, 130, 184, 186, 188, 189
consum de combustibil.... 66, 77, 121, 137

Convertorul Pixsys 103
coridoarele paneuropene..... 17

D

Diesel ... 11, 19, 20, 21, 59, 107, 191, 192, 193,
200, 202, 203, 205, 206, 207
Directivei 97/68/CE 37
DOC..... 6, 69, 79, 82, 83, 84, 85, 194, 199, 202

E

Ecologia 34
efecte dăunătoare 46
Efectele nocive ... 5, 6, 43, 44, 45, 46, 47, 48,
50, 51, 52
eficiență energetică 26
EGR..... 6, 64, 65, 70, 183, 193, 202
emisii..... 2, 5, 32, 33, 40, 41, 48, 51, 53, 59, 66,
67, 109, 121, 183, 192
emisii de NO_x..... 109, 121, 192
emisiile poluante..... 2, 32, 58
Emisiile standardelor..... 37, 38, 199
emisiilor..... 2, 6, 7, 8, 18, 27, 28, 29, 32, 33, 35,
36, 37, 39, 40, 41, 44, 45, 49, 51, 52, 53, 58,
59, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 71, 77, 80, 82,
86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 99, 110, 111, 112,
120, 121, 123, 125, 126, 127, 129, 130, 131,
133, 135, 136, 138, 183, 184, 186, 187, 188,
189, 191, 192, 193, 194, 195, 197, 199, 203

F

Filtre de particule 75
fluxului gazelor de ardere ... 86, 88, 89, 91
fum 42, 49, 71

H

hidrocarburi 42, 46, 47, 58, 61, 63, 64, 201
Hidrocarburile aromatice policiclice . 47,
201

I

infrastructura16, 17, 18, 26, 27, 205
 infrastructuri nepoluante 18
 injecție în conductă/rampă comună . 66

Î

Încercările experimentale 77

L

Labview107, 110, 111, 191, 192, 194
 LDH 1, 2, 7, 8, 20, 21, 24, 25, 92, 93, 96, 97, 98,
 107, 122, 123, 134, 136, 138, 186, 187, 188,
 193, 194, 197, 200, 203, 204
Legea Protecției Mediului 36
 Locomotiva diesel hidraulică de 1360
 CP 96
 locomotivă .. 9, 11, 12, 19, 20, 24, 25, 99, 135,
 136, 168
 locomotive diesel hidraulice 8, 24, 77

M

Materialul rulant 13
 mărfuri transportate 24, 27
 măsurători .. 82, 112, 114, 115, 123, 124, 125,
 126, 127, 133, 135, 136, 192, 195
 mediului înconjurător 18, 26, 27, 31, 32,
 33, 34, 36, 39, 41, 183, 191, 201
 metodelor de reducere a emisiilor 18
 mijloc de transport 13, 92, 96
 mixare 86, 88, 89, 91, 194
 monoxid de carbon 42, 200, 201
 motoarele diesel 44
 motoarelor cu ardere prin comprimare
 41
 motorul diesel ... 7, 11, 67, 73, 77, 93, 94, 95,
 96, 97, 102, 103, 118, 121, 124, 125

N

nivelului concentrațiilor de NO_x 35
NonRoad Transient Cycle 39
noxe 6, 7, 43, 52, 62, 63, 80, 99, 135, 194
 NRTC... 8, 39, 77, 121, 122, 123, 124, 125, 126,
 128, 130, 184, 186, 192, 195, 201

O

Oxidatorul catalitic 6, 69
Oxidul de carbon 44
 oxizi de azot 5, 35, 42, 45, 46, 49, 69, 70, 73,
 116, 135, 186, 201, 206
 oxizii sulfurului 42

P

particule ... 5, 7, 35, 36, 42, 46, 48, 49, 50, 57,
 58, 59, 62, 63, 64, 75, 76, 113, 183, 193, 201
 ploilor acide 43
 plumbul și compușii săi 42
 poluant ... 31, 33, 34, 46, 49, 50, 53, 58, 62, 64
 poluare chimică 27
 poluarea aerului 57, 58, 59, 121
 Poluarea aerului 57, 203, 204, 205
 Poluarea atmosferei 31
 poluării transfrontaliere 18
 proces 37, 41, 46, 58, 67, 102, 103, 115
 Protocolul de la Kyoto 18, 36, 37

R

reducerea catalitică neselectivă 35
 reducerea catalitică selectivă 35
 Reducerea noncatalitică selectivă . 7, 75
 reducerii poluării 30
 regim dinamic 8, 32, 123, 138
 regim static ... 8, 32, 112, 122, 123, 134, 135,
 136, 191, 192, 195
 rețelei feroviare românești 18

S

SCR 2, 6, 7, 8, 35, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 79, 80,
 81, 82, 83, 84, 85, 86, 122, 123, 124, 125,
 128, 131, 132, 133, 134, 183, 184, 186, 191,
 192, 193, 199, 200, 204, 206, 207
 secție de remorcăre 168, 170, 175, 180,
 188
 senzori ... 81, 82, 103, 108, 112, 113, 114, 115,
 194
 sistem de injecție 75
 Sistem de recirculare al gazelor de
 evacuare 6, 64
 sistemul de injecție 80, 81
 SNCR 35, 75, 183, 192, 193, 200

Stage 37, 38, 39, 40, 41, 77, 121, 199
stand 77, 123, 191
substanță periculoasă 43
substanțe poluante 43, 47

T

Temperatura gazelor 129
Termocuplurile 100
Teste 8, 121, 128, 131
TESTO 350 M/XL 111, 112, 115, 135, 203
traficului feroviar 18

Transportul feroviar 9, 13, 26
tren 9, 10, 11, 99, 168, 190

U

unitatea de control al motorului 124
utilajele mobile nonrutiere 37

V

vehicule ecologice 29