



Universitatea POLITEHNICA din București

**Școala Doctorală de
Inginerie Industrială și Robotică**

Decizie CSUD UPB nr. 733 din 31.08.2021

Sorin M. CUCU

TEZĂ DE DOCTORAT

**Dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în
vederea reducerii impactului ecologic**

**Development of the vehicle maintenance process in order
to reduce the ecological impact**

- Rezumat -

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.univ.dr.ing. Marian GHEORGHE	Universitatea POLITEHNICA din București
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing. Gheorghe SOLOMON	
Referent	Prof.univ.dr.ing. Theodor MACHEDON PISU	Universitatea Transilvania din Brașov
Referent	Prof.univ.dr.ing. Eugen-Viorel NICOLAE	Universitatea din Pitești
Referent	Prof.univ.dr.ing. Cristian ANDREESCU	Universitatea POLITEHNICA din București

Cuvinte cheie: mentenanță, autovehicule, disponibilitate, cost, impact ecologic

Cuprins

	Pag. rezumat	Pag. teză
<i>Cuvânt înainte</i>	-	3
Introducere	3	5
Legendă	-	7
<i>Partea I. Stadiul actual al cercetărilor privind mentenanța autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic</i>		
<i>Capitolul 1. Mentenanța autovehiculelor</i>	5	9
1.1. Noțiuni introductive	-	9
1.2. Elemente privind fiabilitatea sistemelor	-	11
1.3. Mentenabilitatea	-	15
1.4. Disponibilitatea	-	16
1.5. Mentenanța	5	18
1.5.1. Rolul și responsabilitatea activităților de mentenanță	5	18
1.5.2. Sisteme de mentenanță specifice exploatarei autovehiculelor	-	22
1.5.3. Modele de evaluare a mentenanței autovehiculelor	-	24
<i>Capitolul 2. Procesul ecotehnologic de mentenanță preventivă</i>	7	27
2.1. Structura ecoprocesului de mentenanță	-	27
2.2. Analiza ecotehnologică a procesului de mentenanță la autovehicule	7	29
2.3. Impactul ecologic al mentenanței autovehiculelor	10	43
<i>Capitolul 3. Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor privind mentenanța autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic</i>	11	51
<i>Partea a II - a. Contribuții la dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic</i>		
<i>Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare-dezvoltare a procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic</i>	11	55
4.1. Direcții de cercetare-dezvoltare	11	55
4.2. Obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare	12	55
4.3. Metodologia de cercetare-dezvoltare	12	56
<i>Capitolul 5. Studiul impactului asupra mediului al autovehiculelor</i>	13	59
5.1. Impactul asupra mediului pe întreg ciclul de viață al autovehiculelor	13	59
5.1.1. Ciclul de viață al autovehiculelor	13	59
5.1.2. Impactul ecologic al etapelor ciclului de viață al autovehiculelor	13	60

UPB	Teză de doctorat- Rezumat	Dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic	Sorin M. CUCU
5.2.	Analiza impactului ecologic al unor elemente utilizate în mentenanța autovehiculelor	16	67
5.3.	Dezvoltarea unui element de modelare referitor la reducerea impactului asupra mediului prin reciclare	18	71
5.4.	Dezvoltarea unui element de modelare referitor la reducerea impactului asupra mediului prin recondiționare	19	73
<i>Capitolul 6. Dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor</i>		20	75
6.1.	Criterii de optimizare a strategiilor de mentenanță	20	75
6.2.	Elemente de modelare a costului procesului de mentenanță preventivă	20	75
6.3.	Elemente de modelare a disponibilității autovehiculului în condițiile mentenanței preventive	21	79
6.4.	Elemente de modelare a impactului ecologic în condițiile mentenanței periodice	-	83
6.5.	Criterii de optimizare a activităților de mentenanță preventivă	-	85
6.5.1.	Criterii de optimizare a mentenanței în funcție de costul mentenanței	-	87
6.5.2.	Criterii de optimizare a mentenanței în funcție de disponibilitate	-	89
6.5.3.	Criterii de optimizare a mentenanței în funcție de impactul asupra mediului .	-	90
6.6.	Decizii de optimizare a activităților de mentenanță preventivă	22	91
<i>Capitolul 7. Studiu de caz privind elemente de optimizare ale procesului de mentenanță pentru autovehicule</i>		23	93
7.1.	Caracteristicile parcului de autovehicule aflate în mentenanță	23	93
7.2.	Date semnificative referitor la organizația unde se realizează activitatea de mentenanță	23	95
7.3.	Elemente de optimizare a periodicității controalelor tehnice periodice în funcție de criteriul disponibilității autovehiculelor	24	96
7.4.	Elemente de optimizare a periodicității controalelor tehnice periodice în funcție de criteriul costului mentenanței autovehiculelor	25	99
7.5.	Mentenanța autovehiculelor – perspectiva ecologică	-	102
<i>Capitolul 8. Reducerea impactului ecologic al mentenanței autovehiculelor prin implementarea sistemului de management de mediu</i>		26	105
8.1.	Metodologia realizării unei analize comparative privind politica de mediu în atelierele de mentenanță pentru autovehicule	-	105
8.2.	Analiză comparativă privind aspectele de mediu între ateliere de reparații auto cu sistem de management de mediu implementat și ateliere care doar respectă cerințele de mediu	-	109
<i>Capitolul 9. Concluzii finale și contribuții principale la dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic</i>		27	113
<i>Bibliografie</i>		29	119

Introducere

Abordarea crizei climatice și de mediu este o oportunitate de a relansa economia într-un mod durabil. Răspunzând acestei provocări, acordul european *Stepping up Europe's 2030 climate ambition - Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people* a stabilit ca țintă neutralitatea climei până în 2050 prin reducerea de 90% a emisiilor de gaze cu efect de seră legate de transport. Evaluarea impactului care însoțește acordul European *White Paper Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system* a arătat că pentru a realiza acest lucru, trebuie luate o serie de măsuri pentru a face activitatea de transport mai durabilă. În acest context, reducerea impactului ecologic al activităților de mentenanță pentru autovehicule, își poate pune amprenta asupra reducerii globale a emisiilor poluante generate de sectorul de transport.

Motivul pentru care am ales realizarea tezei „Dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic”, este acela că, în România informațiile teoretice legate de relația dintre mentenanța autovehiculelor și impactul de mediu sunt aproape inexistente.

Scopul cercetării este de a analiza cadrul complex al activităților de mentenanță, cu evidențierea caracteristicilor tehnologiilor, a rolului și particularităților strategiilor de mentenanță și impactul lor asupra mediului.

* * *

Partea I a tezei de doctorat cuprinde stadiul actual al cercetărilor privind mentenanța autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic și este structurată pe următoarele capitole:

În capitolul 1, intitulat "Mentenanța autovehiculelor", se realizează:

- o minima inventariere a modelelor matematice folosite în teoria fiabilității;
- o prezentare a conceptelor de mentenabilitate și disponibilitate;
- se detaliază conceptul de mentenanță, sistemele de mentenanță specifice autovehiculelor și strategiile ce pot fi folosite;
- se prezintă modele de analiză și evaluare a mentenanței autovehiculelor: evaluarea tehnică, evaluarea economică și evaluarea impactului ecologic.

Capitolul 2, denumit "Procesul ecotehnologic de mentenanță preventivă", prezintă:

- tipuri de poluanți specifici unor etape ale procesului de ecomentenanță identificate în diagramele flux ale acestora;
- date statistice din studii de cercetare privind impactul ecologic al autovehiculelor pe întreg ciclul de viață al acestora;
- elemente referitoare la impactul de mediu al procesului de mentenanță cu particularizări pentru piese de schimb, ulei, acumulatori și anvelope.

Capitolul 3 prezintă concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor privind mentenanța autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic.

Partea a II-a a tezei de doctorat cuprinde contribuțiile personale la dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic și este structurată pe următoarele capitole:

Capitolul 4 prezintă direcții de cercetare-dezvoltare a mentenanței autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic, obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare, precum și metodologia de cercetare-dezvoltare utilizată.

Capitolul 5, intitulat "Studiul impactului asupra mediului al autovehiculelor", propune:

- analizarea ciclului de viață al autovehiculelor;

- dezvoltarea de relații matematice privind impactul asupra mediului pe întreg ciclul de viață al autovehiculelor și se interpretează grafic rezultatele coroborate cu bazele de date existente;
- dezvoltarea unui model referitor la reducerea impactului asupra mediului prin reciclare și un model referitor la reducerea impactului asupra mediului prin recondiționare.

În Capitolul 6, denumit "Dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor" se efectuează:

- o analiză teoretică referitoare la criteriile de optimizare a strategiilor de mentenanță;
- o dezvoltare a unor modele matematice ale costului, disponibilității și impactului ecologic ale activităților de mentenanță ale autovehiculelor.

Capitolul 7 prezintă un studiu de caz privind elemente de optimizare ale procesului de mentenanță pentru autovehicule cuprinde:

- o prezentare a caracteristicilor parcului de autovehicule aflate în mentenanță;
- o prezentare a datelor semnificative referitoare la organizația unde se realizează activitatea de mentenanță;
- comparația dintre elementele de optimizare dezvoltate în partea teoretică cu datele statistice din activitatea de mentenanță, în funcție de criteriul disponibilității și costului mentenanței autovehiculelor;
- elaborarea unui model de decizie propriu pentru mentenanța și din perspectiva ecologică.

În Capitolul 8, intitulat "Reducerea impactului ecologic al mentenanței autovehiculelor prin implementarea sistemului de management de mediu", se realizează o analiză comparativă privind aspectele de mediu .

Capitolul 9, "Concluzii finale și contribuții principale la dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic", prezintă:

- concluziile finale;
- contribuțiile personale;
- direcțiile de dezvoltare în domeniul reducerii impactului de mediu al mentenanței.

Capitolul 1. Mentenanța autovehiculelor

1.5.1. Rolul activităților de mentenanță

Implementarea serviciului de mentenanță, ca structură organizatorică a unui agent economic presupune forme de organizare care în funcție de scopul urmărit, utilizează resursele disponibile și prognozează investițiile viitoare. O astfel de abordare trebuie corelată cu sistemele de mentenanță prezentate în Fig. 1.6.

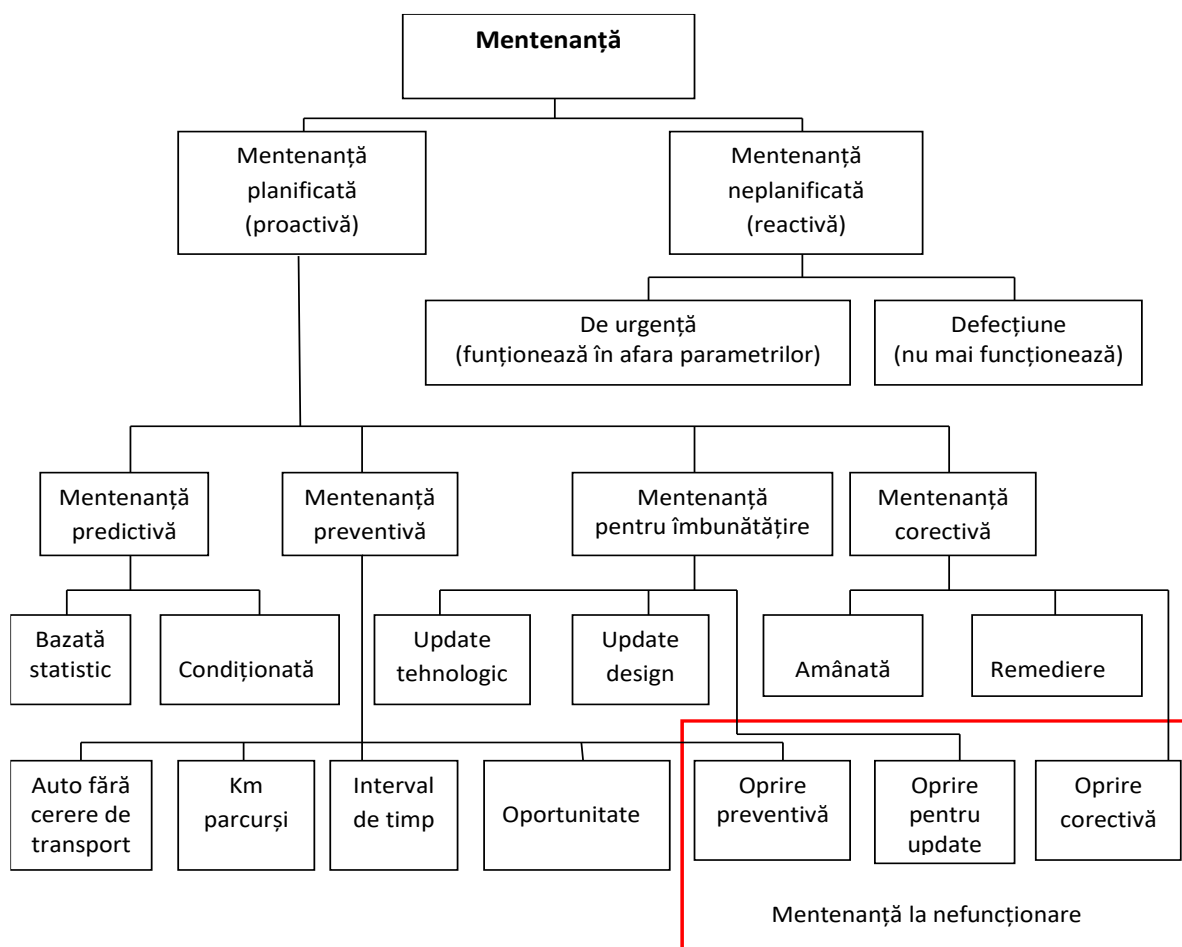


Fig. 1.6. Tipuri de mentenanță pentru autovehicule [34]

Pentru a asigura disponibilitatea pentru exploatare a autovehiculelor, mentenanța implică:

- diagnosticarea periodică a autovehiculelor
- diagnosticarea utilajelor, instalațiilor, aparaturii de control
- realizarea acțiunilor de mentenanță planificate
- repararea defecțiunilor constatate
- achiziția de echipamente noi
- proiectarea și implementarea de metode noi de mentenanță;
- școlarizarea personalului în vederea utilizării optime a echipamentelor noi.

Protecția mediului se asigură prin:

- diagnosticul stării tehnice a autovehiculelor referitoare la emisiile de gaze;
- prevenirea scurgerilor de fluide;

- implementarea de proceduri privind recondiționarea, recuperarea și reciclarea pieselor uzate;
- filtrarea gazelor, decantarea fluidelor tehnologice și reziduale.

Eficiența sistemelor menționate anterior se poate compara prin indicatori de costuri, disponibilitate sau în cazul temei abordate, de mediu. Strategiile de mentenanță sunt prezentate schematic în Fig. 1.8.

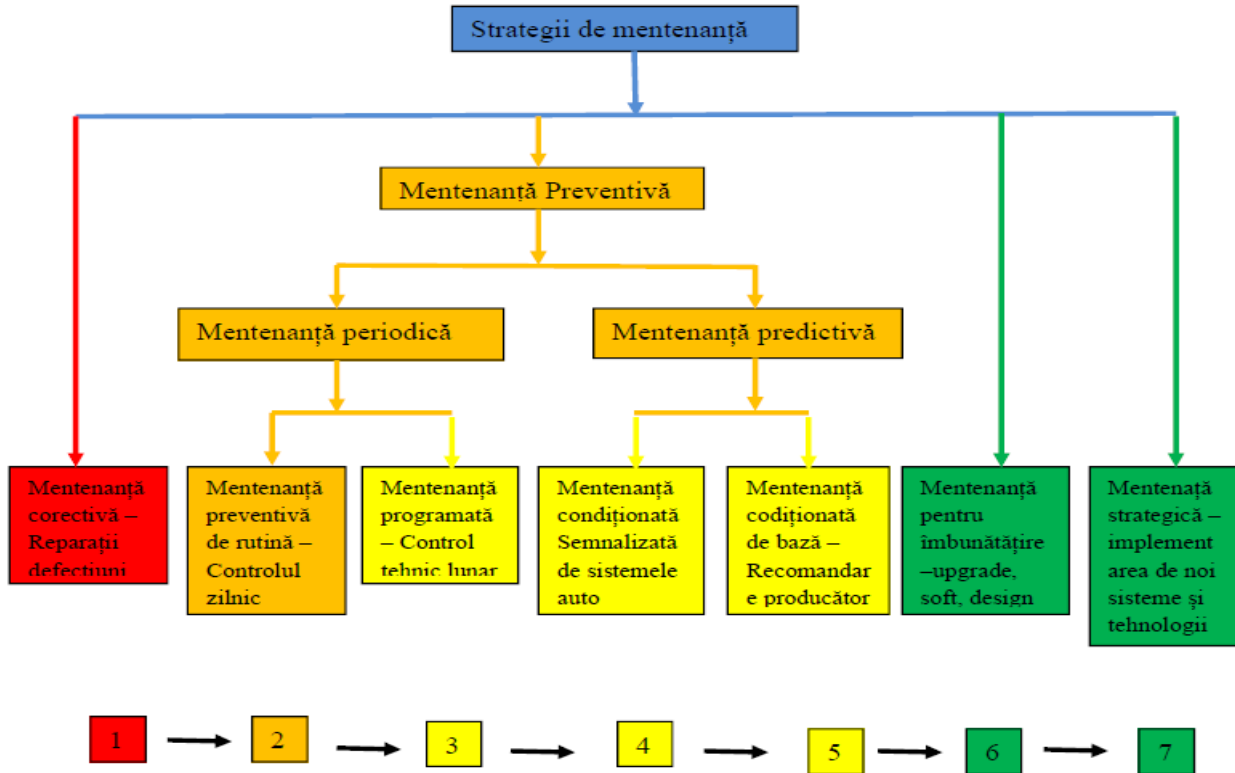


Fig. 1.8. Strategii de mentenanță , adaptare din [9, 35,37]

Dezvoltarea mentenanței se poate realiza pe patru paliere [61]:

- creșterea productivității sistemului, adică a cantității de produse la un preț cât mai bun, de o manieră stabilă în timp;
- participarea la îmbunătățirea continuă a calității produselor, respectiv a bunurilor fabricate și a serviciilor oferite;
- garantarea securității bunei funcționări a sistemului și a oamenilor ce îl deserveșc;
- garantarea protecției mediului.

Tehnologiile de mentenanță ale autovehiculelor evoluează, de asemenea, odată cu tehnologiile de fabricație ale autovehiculelor. Automobilele moderne încorporează multe sisteme electronice. Prin urmare, upgradarea soft-urilor și senzorii sunt folosiți pentru a detecta defectele din sistem înainte de imobilizare.

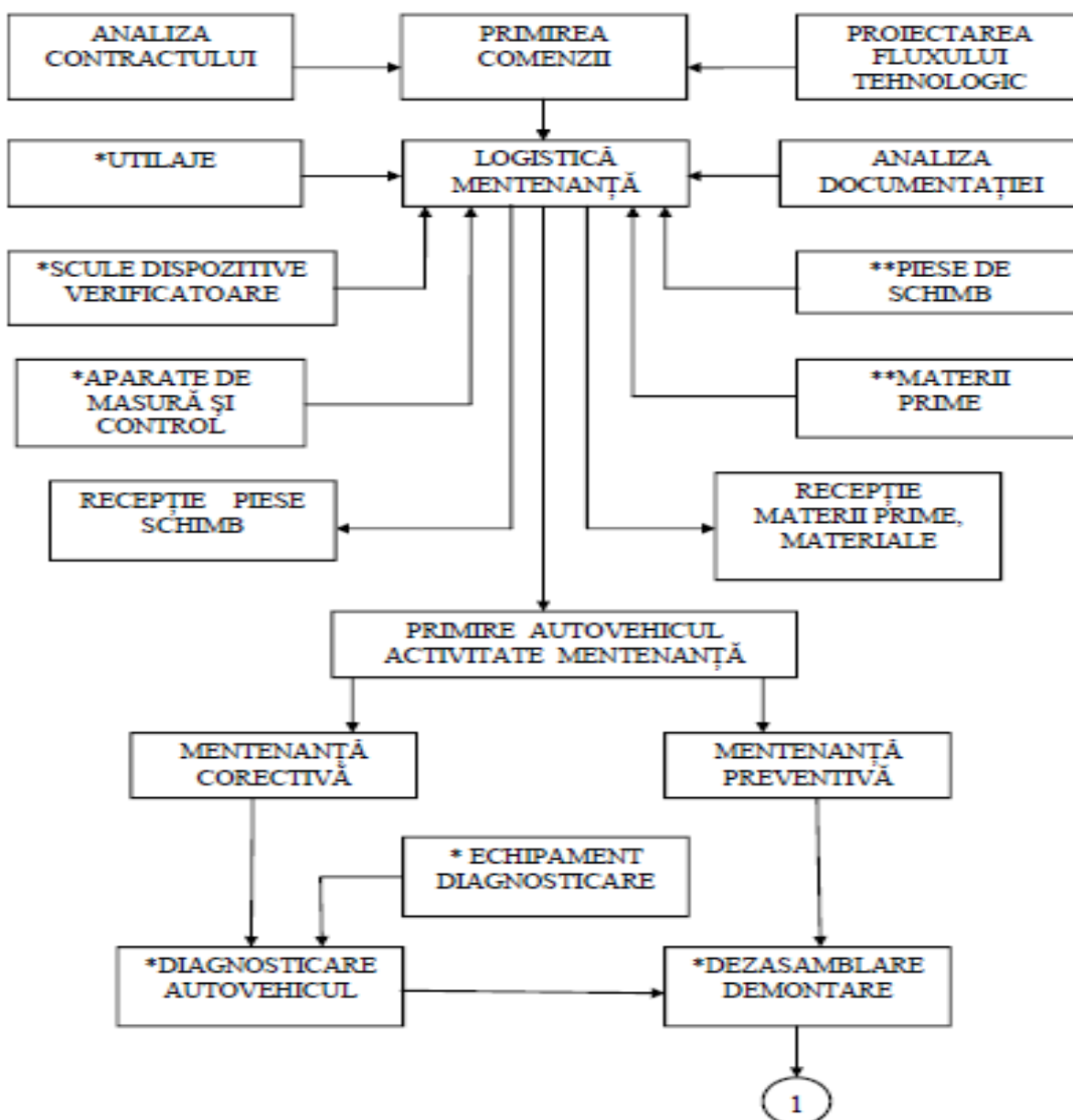
O abordare uzuală în mentenanța autovehiculelor, prin transmiterea automată a datelor culese de senzorii aflați la bord, se numește CMMS (Computerized Maintenance Management System). În această abordare, datele despre senzori pentru diferite funcționări ale vehiculului sunt colectate și procesate folosind calculatoarele de la bord. Anomalia în funcțiile vehiculului este înregistrată și analizată de computer [47, 56]. Rezultatul este apoi extras și interpretat de personalul de întreținere pentru a identifica eroarea în sistemele vehiculului. Acest lucru îmbunătățește eficiența procesului de întreținere și reduce costurile, precum și timpul de întreținere al vehiculului.

Capitolul 2. Procesul ecotehnologic de mentenanță preventivă

2.2. Analiza ecotehnologică a procesului de mentenanță la autovehicule

Componenta principală a unui ecoproces de mentenanță o constituie ecoprocesele de bază, care contribuie direct la transformarea materiilor prime în piese de schimb, materiale, lubrefianți, anvelope, acumulatori etc. sau în repararea/ recondiționarea /reciclarea /regenerarea acestora în vederea reducerii emisiilor poluante și a cantității de deșeuri.

În Fig. 2.3 sunt descrise principalele etape ale ecoprocesului de mentenanță, cu relaționarea dintre ele și specificarea categoriei de impact (major sau minor) asupra mediului.



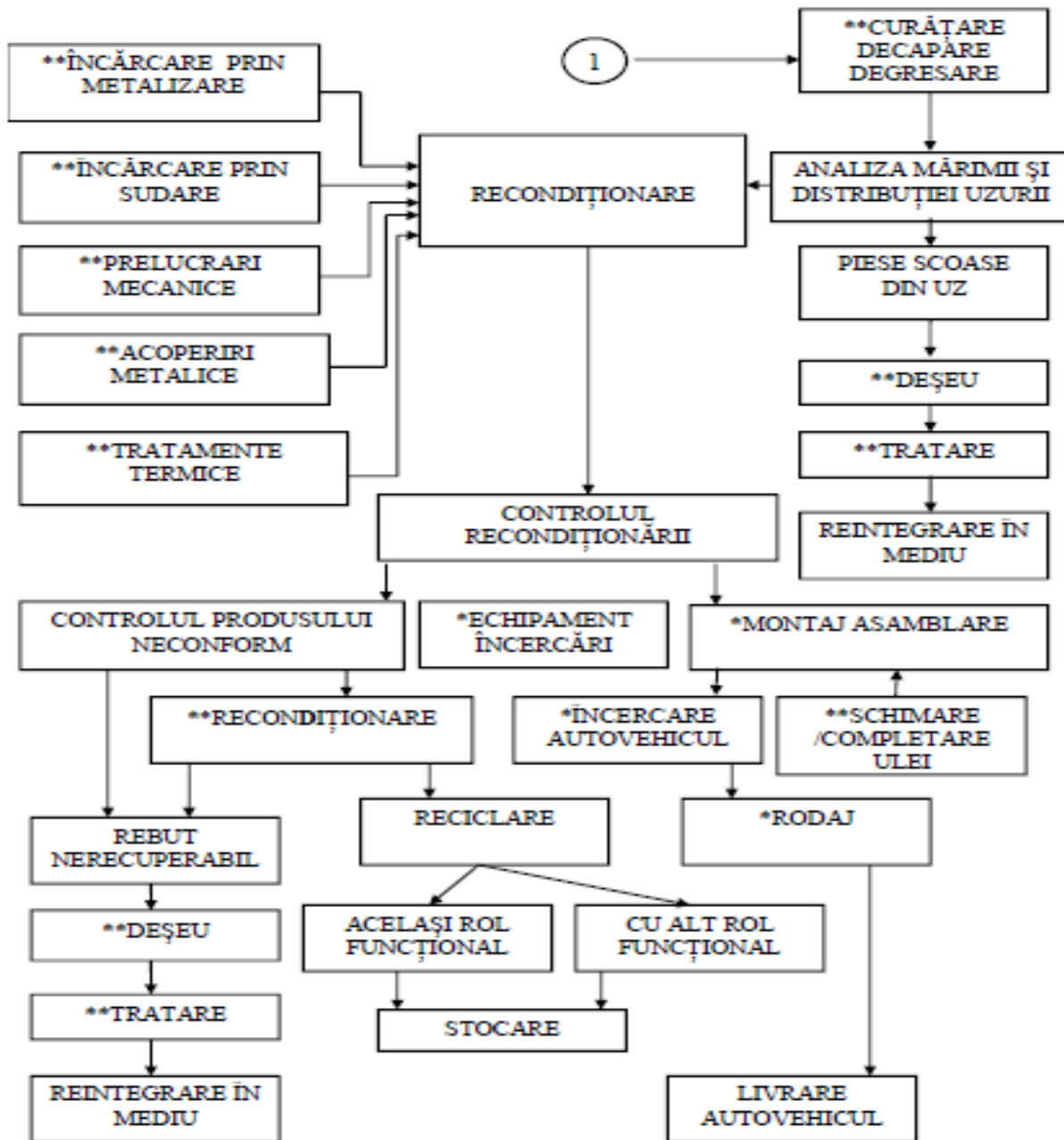


Fig. 2.3. Etapele ecoprocesului de mentenanță autovehicule, adaptare din [7, 105]
 * Impact redus asupra mediului; ** Impact major asupra mediului

Diagrama flux a procesului ecotehnologic de reparații mecanice. Exploatarea rațională a autovehiculelor impune aplicarea strictă a unui plan de reparații periodice preventive. Experiența acumulată în decursul exploatării dovedește însă că indicatorii tehnico-economici sunt direct influențați atât de modul în care este respectat planul de reparații, cât și de metodele folosite în operațiile de reparare și de recondiționare.

Proiectarea planului de reparații se realizează în conformitate cu diagrama flux a procesului ecotehnologic de reparație mecanică, prezentată în Fig. 2.4.

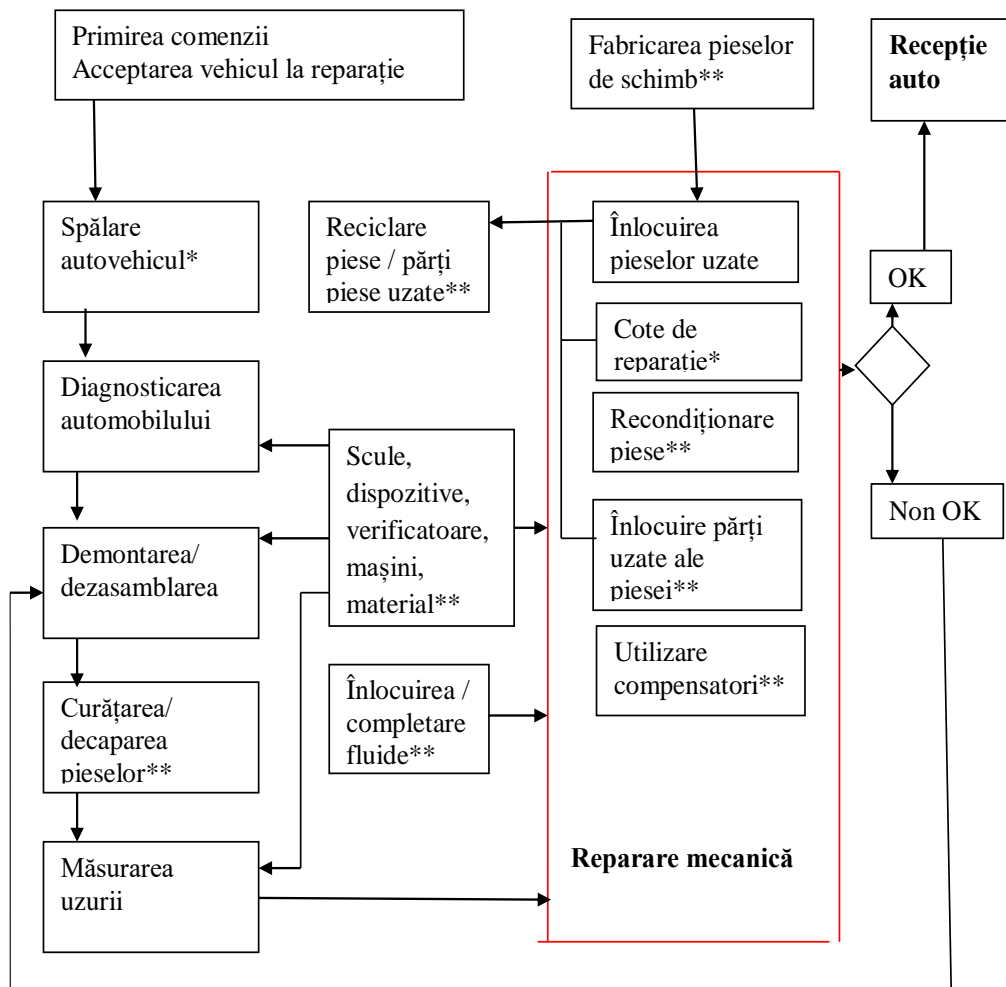


Fig. 2.4. Diagrama flux a procesului ecotehnologic de reparație mecanică, adaptare din [7]

* Impact redus asupra mediului; ** Impact major asupra mediului

Diagrama flux a procesului ecotehnologic de recondiționare prin sudare / metalizare.

Recondiționarea, ca parte a procesului tehnologic de reparare, restabilește caracteristicile de funcționare și dimensiunile inițiate ale subansamblurilor și pieselor uzate sau deteriorate. Prin recondiționare, sistemul mecanic considerat capătă aceleași caracteristici funcționale (putere, randament, emisii etc.) ca sistemul mecanic nou [39].

Ecotehnologia recondiționării prin încărcare prin sudare, reprezentată prin schema logică din Fig. 2.8, constă în depunerea unui strat de material prin sudare pe suprafața unei piese în vederea compensării uzurii și refacerii dimensiunilor nominale ale piesei. Între stratul depus și piesă se realizează monolitismul prin continuitatea rețelei cristaline ce se realizează fie prin topire, fie prin presiune.

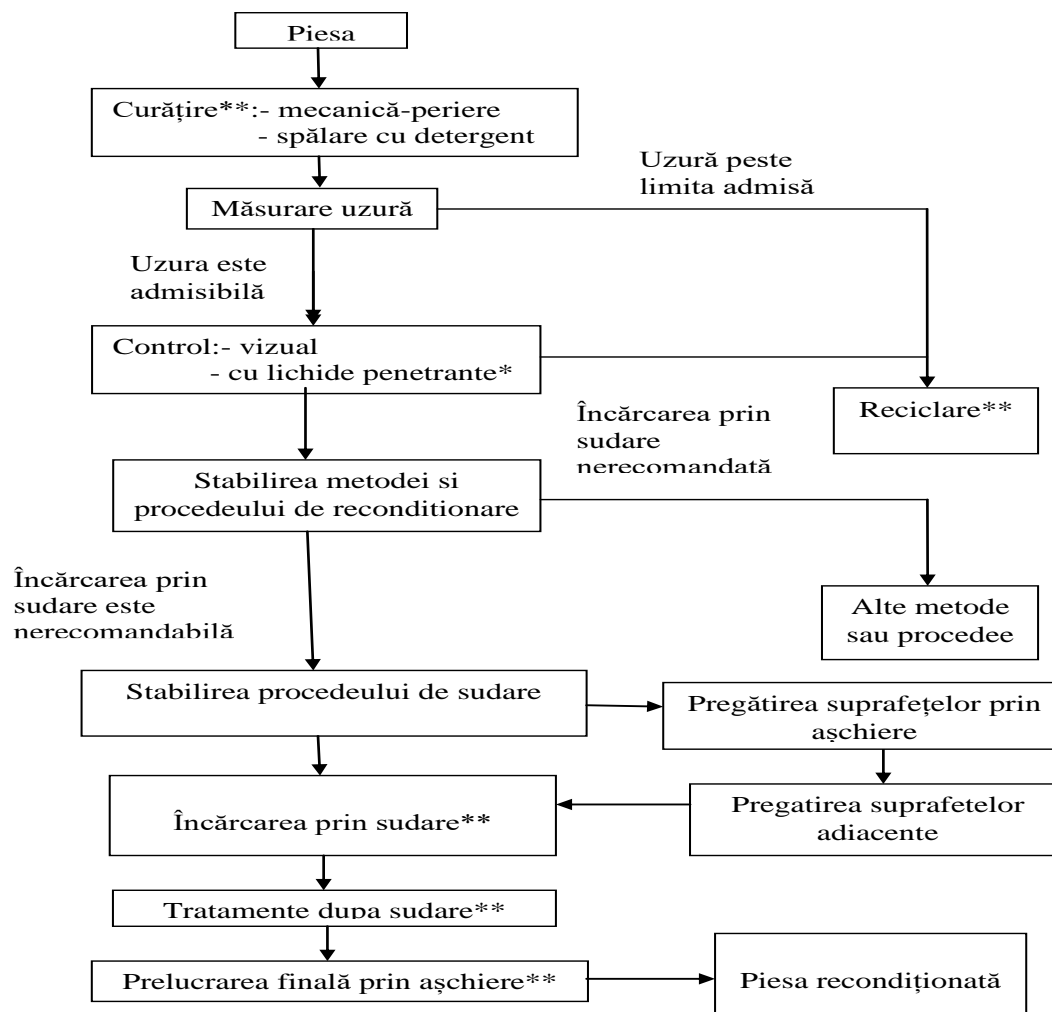


Fig. 2.8. Diagrama flux a procesului ecotehnologic de recondiționare prin sudare, adaptare din [6]
* Impact redus asupra mediului,** Impact major asupra mediului

2.3. Impactul ecologic al mentenanței autovehiculelor

Scenariul de bază pentru scoaterea din uz, End – of – Live, se bazează pe estimări [127]. Sintetic, datele sunt prezentate în Tabelul 2.20.

Tab. 2.20. End-of-life materiale componente auto [127]

Materiale	Refolosite [%]	Reciclate [%]	Recuperate [%]	Deșeuri [%]
Metale feroase	5	94	0	1
Metale neferoase	10	87	0	3
Plastic și polimeri	1	0	0	99
Anvelope	21	0	66	13
Sticlă	0	0	0	100
Acumulatori	8	92	0	0
Fluide	29	71	0	0
Textile	0	0	0	100
Cauciuc	0	0	0	100
Altele	0	0	0	100

Capitolul 3. Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor privind mentenanța autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic

Mentenanța periodică, ca parte a mentenanței preventive, se bazează pe teoria fiabilității. Majoritatea studiilor consideră legea de distribuție Weibull descrie cel mai bine etapele vieții, a defecțiunilor timpurii, vieții utile și îmbătrânirii, unei componente reparabile, fiind folosită în studiul fiabilității autovehiculelor. (v. § 1.2).

Cerințe privind proiectarea unui ecoproces de mentenanță pentru autovehicule (v. § 2.1):

- promovarea recondiționării;
- utilizarea materialelor reciclabile;
- reducerea și captarea deșeurilor la sursă;
- reducerea la minim necesar a intrărilor de materiale și energie;
- modelarea și echilibrarea consumului de energie;
- respectarea cerințelor reglementate de mediu.

Recondiționarea, ca parte a procesului tehnologic de reparare, restabilește caracteristicile de funcționare (putere, randament, emisii etc.) și dimensiunile inițiale ale subansamblurilor și pieselor uzate sau deteriorate. Recondiționarea pieselor prin sudare este printre cele mai răspândite metode de recondiționare. Dacă la momentul actual, activitatea de recondiționare a pieselor de autovehicul nu mai este fezabilă din punct de vedere economic, reglementările și direcțiile privind dezvoltarea durabilă, reducerea consumului de resurse și necesitatea de a diminua impactul asupra mediului, pot readuce în actualitate procesul de recondiționare (v. § 2.2).

Impactului ecologic al mentenanței este analizat prin studierea a trei aspecte (v. § 2.3):

- resursele necesare;
- eficiența utilajelor;
- gestionarea deșeurilor.

Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare-dezvoltare a procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic

4.1. Direcții de cercetare-dezvoltare

Direcții de cercetare-dezvoltare privind procesul de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic:

- identificarea diferitelor abordări ale modelării mentenanței autovehiculelor în raport cu disponibilitatea, costul și impactului ecologic;
- analiza impactului asupra mediului pe întreg ciclul de viață al autovehiculelor;
- dezvoltarea unui model referitor la reducerea impactului asupra mediului prin reciclare și / sau recondiționare;
- dezvoltarea unui element de modelare privind optimizarea timpului dintre controalele tehnice periodice în vederea maximizării disponibilității autovehiculului;

- dezvoltarea unui element de modelare privind optimizarea timpului dintre controalele tehnice periodice în vederea minimizării costurilor mentenanței;
- dezvoltarea unui model matematic de decizie pentru a studia relația dintre criteriul economic și criteriul ecologic privind mentenanța;
- identificarea potențialului de reducere a impactului asupra mediului implementarea măsurilor documentate ale unui sistem de management de mediu.

4.2. Obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare

Obiectiv principal al activității de doctorat îl reprezintă dezvoltarea unor elemente de modelare a mentenanței periodice pentru autovehicule cu evidențierea aspectelor legate de disponibilitate, cost și mediu .

4.3. Metodologia de cercetare-dezvoltare

Studiul impactului asupra mediului al autovehiculelor pe întreg ciclul de viață, precum și analiza impactului ecologic al unor elemente utilizate în mentenanța autovehiculelor se vor realiza prin aplicarea metodei de evaluare a impactului ciclului de viață simplificat. Această metodă utilizează 9 indicatori din baza de date Ecoinvent. Pentru acești indicatori se vor formula relații matematice privind fiecare etapă a ciclului de viață. Prelucrarea datelor se va realiza prin utilizarea programelor informatice ce vor genera și interpretări statistice grafice. În mod asemănător se vor prelucra și datele privind impactul ecologic al unor componente folosite la întreținerea și repararea autovehiculelor.

Studiul de caz presupune investigarea aprofundată a mentenanței unor eșantioane de autovehicule sub aspect organizatoric, tehnic și economic pentru a căuta modele (cantitative) de eficientizare a activității de întreținere și reparații și pentru a reliefa cauzele non eficienței (calitativ). Planificarea activității de mentenanță este specifică organizației. Dintre punctele forte ale oportunității realizării acestui studiu putem enumera:

- loturile omogene de autovehicule luate în considerare;
- cota de piață ridicată a acestor tipuri de autovehicule;
- existența unor proceduri complexe privind mentenanța autovehiculelor;
- realizarea mentenanței în atelierul propriu de întreținere și reparații;
- existența dosarelor privind istoricul de mentenanță;
- existența mai multor organizații ce utilizează proceduri foarte asemănătoare de mentenanță.

Reducerea impactului ecologic al mentenanței autovehiculelor prin implementarea sistemului de management de mediu se va realiza în baza datelor reprezentate de răspunsurile la un chestionar înmănat la 2 eșantioane de companii, cuprinzând 17 prestatori de servicii în domeniul întreținerii și reparațiilor auto, în zona metropolitană București, în perioada 2019-2021. Alegerea celor 17 prestatori de servicii va ține cont de relațiile contractuale pe care proprietarul parcului auto le are pentru întreținerea autovehiculelor sale. Cele 2 eșantioane sunt diferențiate de faptul că un prim eșantion format din 10 prestatori de servicii au implementat cel puțin un sistem de management de mediu, iar cel de-al doilea eșantion, format din 7 prestatori de servicii, respectă doar legislația. O serie de întrebări vor returna înregistrări calitative, iar celelalte, la care se vor cere note (cote), vor returna înregistrări cantitative.

Capitolul 5. Studiul impactului asupra mediului al autovehiculelor

5.1. Impactul asupra mediului pe întreg ciclul de viață al autovehiculelor

5.1.1. Ciclul de viață al autovehiculelor

O abordare proprie a ciclului de viață a autovehiculelor, cu accent pe exploatarea acestora este propusă în Fig. 5.1. Se reliefează în această schemă atât consumul energetic în exploatare, cât și piesele de schimb, materialele și uleiul folosit în procesele de mentenanță, fie ea preventivă – conform indicațiilor producătorului sau corectivă. Au fost evidențiate activitățile de recondiționare și reciclare.

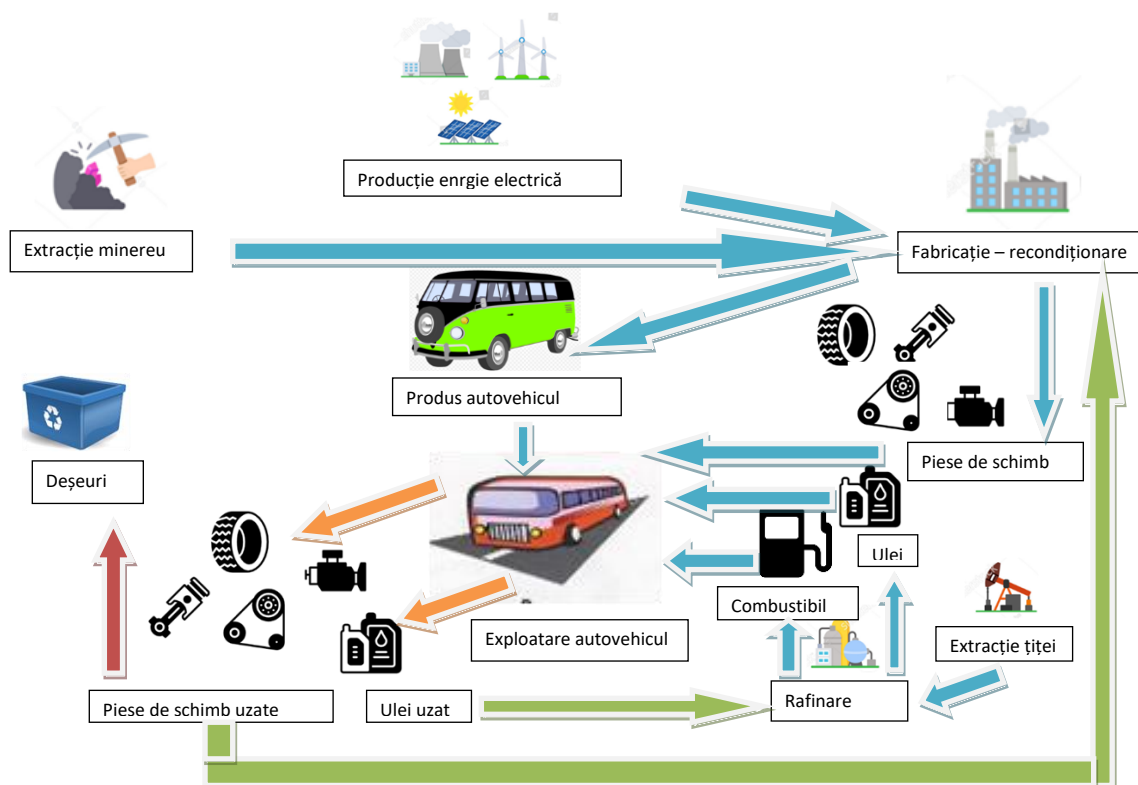


Fig. 5.1. Schematizarea Ciclului de viață al autovehiculului

5.1.2. Impactul ecologic al etapelor ciclului de viață al autovehiculelor

Etapele majore ale ciclului de viață de la extragerea minereului până la scoaterea autovehiculului din exploatare sunt prezentate în Fig. 5.2. Extragerea și prelucrarea materiilor prime, producția materialului de bază, procesul de asamblare, utilizarea automobilului, și recuperarea, reciclarea și eliminarea materialelor sunt etapele considerate, raportate la cinci tipuri principale de procese:

- Producția de autovehicule (inclusiv producția de materiale și asamblarea mașinii);
- Procesele de exploatare și rafinare ale țițeiului;
- Consumul de combustibil în exploatare;
- Mentenanța autovehiculului, producția de piese de schimb și fluide folosite în operațiile de mentenanță (inclusiv anvelope, baterii, lubrifianți, agent frigorific etc);
- Eliminarea autovehiculelor și tratarea deșeurilor.

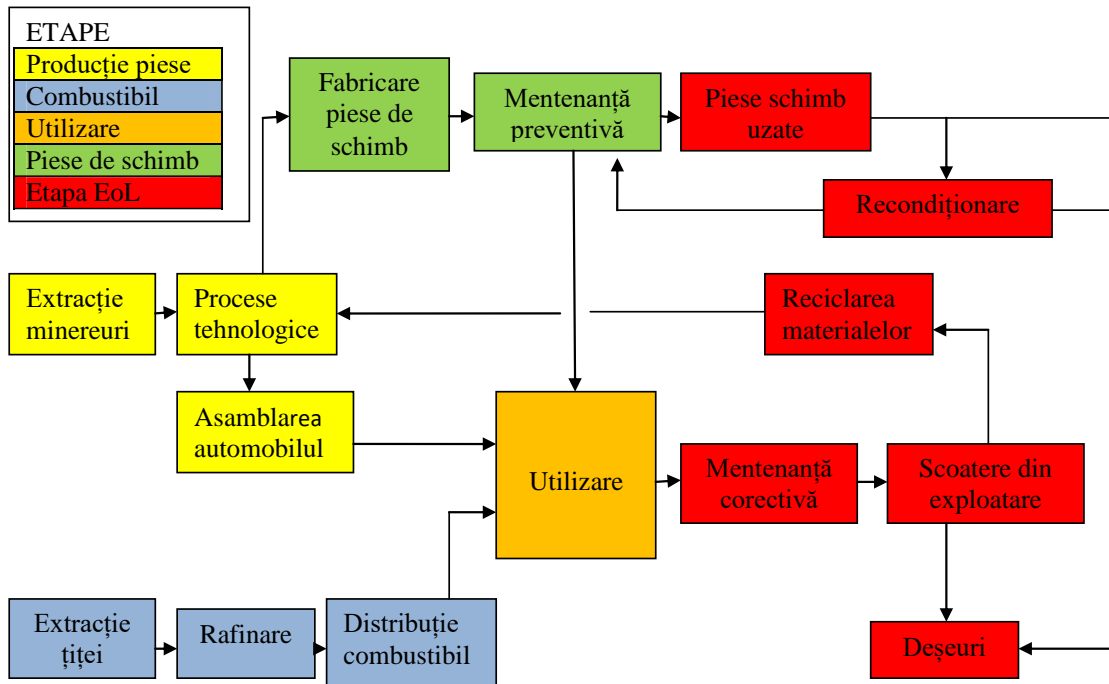


Fig. 5.2. Diagrama ciclului de viață al autovehiculului

Impactul asupra mediului este exprimat în termeni de indicatori agreați, adică t CO₂ – echivalent pentru gazele cu efect de seră, kg Sb-echivalent pentru epuizarea abiotică etc. Au fost folosite date (vezi Tabelul 2.11) și informații (vezi § 2.3), precum:

- impactul asupra mediului asociat cu producerea unei anumite unități (kg, MJ etc.) de material sau energie;
- utilizarea pieselor de schimb (de ex. acumulatori, anvelope, ulei de lubrifiere etc.) în funcție de parcursul autovehiculului;
- rata de recuperare și reciclare a metalelor și a materialelor plastice.

Rezultatele evaluării impactului asupra mediului pe întreg ciclul de viață al autovehiculului se calculează prin însumarea valorilor obținute din bazele de date consultate, pe fiecare etapă a ciclului de viață și fiecare factor de impact, raportată la energia totală consumată pe ciclul de viață.

Astfel, dacă vorbim despre de impactul de mediu dat de consumul de resurse minerale, vom lua în considerare, etapa de producție, etapa de utilizare a autovehiculului și etapa de producție a pieselor de schimb. Expresia matematică pe care o propun în acest caz poate lua forma (5.1):

$$I_{AD} = I_{AD,PP} + I_{AD,C} + I_{AD,PS} \quad [\text{kg Sb-eq/GJ}] \quad (5.1)$$

unde: I_{AD} reprezintă coeficientul de impact de mediu al epuizării resurselor pe întreg ciclul de viață; $I_{AD,PP}$ este coeficientul de impact de mediu sub aspectul epuizării resurselor pentru etapa de producție; $I_{AD,C}$ reprezintă coeficientul de impact de mediu sub aspectul epuizării resurselor referitor exploatarea țițeiului și $I_{AD,PS}$ este coeficientul de impact de mediu sub aspectul epuizării resurselor în etapa de fabricație a pieselor de schimb.

Asemănător, se propun expresiile coeficienților de impact de mediu pentru încălzirea globală (5.2), deteriorarea stratului de ozon (5.3), oxidarea fotochimică (5.4), acidificare (5.5), eutrofizare (5.6) și emisia de microparticule (5.7) :

$$I_{GW} = I_{GW,PP} + I_{GW,C} + I_{GW,U} + I_{GW,PS} + I_{GW,EoL} \text{ [kgCO}_2\text{-eq/GJ]} \quad (5.2)$$

$$I_{ODP} = I_{ODP,PP} + I_{ODP,C} + I_{ODP,PS} \text{ [kg CFC 11-eq/GJ]} \quad (5.3)$$

$$I_{POCP} = I_{POCP,PP} + I_{POCP,C} + I_{POCP,U} + I_{POCP,PS} + I_{POCP,EoL} \text{ [kg C}_2\text{H}_4\text{-eq/GJ]} \quad (5.4)$$

$$I_{AP} = I_{AP,PP} + I_{AP,C} + I_{AP,U} + I_{AP,PS} + I_{AP,EoL} \text{ [kg SO}_2\text{-eq/GJ]} \quad (5.5)$$

$$I_{EP} = I_{EP,PP} + I_{EP,C} + I_{EP,U} + I_{EP,PS} + I_{EP,EoL} \text{ [kg PO}_4\text{-eq/GJ]} \quad (5.6)$$

$$I_{PM} = I_{PM,PP} + I_{PM,C} + I_{PM,U} + I_{PM,PS} + I_{PM,EoL} \text{ [kg /GJ]} \quad (5.7)$$

Un alt element al impactului de mediu o reprezintă eliminarea deșeurilor. În etapele de fabricație, pe lângă adaosul de prelucrare îndepărtat, apar și rebuturi. Existența deșeurilor, în toate etapele ciclului de viață cu excepția utilizării automobilului poate fi descrisă prin relația matematică propusă (5.8):

$$I_D = I_{D,PP} + I_{D,C} + I_{D,PS} + I_{D,EoL} \text{ [kg/kg]} \quad (5.8)$$

Expresiile matematice dezvoltate 5.1 – 5.7 reprezintă coeficienți pentru indicatorii impactului de mediu ca raport între emisiile poluante agregate și cantitatea de energie consumată, iar expresia 5.8 reprezintă coeficientul de impact de mediu al deșeurilor pe întreg ciclul de viață ca raport între masa deșeurilor și masa totală a pieselor componente sau a combustibilului utilizat în exploatare.

Tab. 5.1. Analiza cantitativă a impactului ecologic pe etapele ciclului de viață

	Unitate de	Producție piese	Combustibil	Utilizare	Piese de schimb	Etapa EoL	TOTAL
Epuizare resurse	kg Sb - eq /GJ	0,158	0,0005	0	0,172	0	0,3305
Încălzire globală	kg CO ₂ - eq /GJ	4,5	8,05	45,05	0,45	0,1	58,15
Deteriorarea strat ozon	kg CFC 11 - eq	0,0002	0,0064	0	0,0001	0	0,0067
Oxidare fotochimică	kg C ₂ H ₄ /GJ	7,3	28,15	21,5	1,9	0,02	58,87
Acidificare	kg SO ₂ - eq /GJ	45	100,05	14,95	2,55	0,.	162,65
Eutroficare	kg PO ₄ - eq /GJ	4,9	8,7	3,4	0,25	0,03	17,28
Particule	kg / GJ	0,9	2,7	1,8	0,15	0	5,55
Energia primară	GJ / GJ	66,7	90,1	602,25	13,65	0,05	772,75
Deșeuri	kg	353,3	197,3	0	16,85	293,4	860,85

Impactul asupra mediului pe întreg ciclul de viață s-a obținut aplicând formulele de mai sus bazei de date disponibile menționate în § 2.3. Rezultatele sunt sintetizate în Tabelul 5.1. Pentru fiecare dintre factorii ce contribuie la impactul ecologic, putem cuantifica contribuția fiecărei etape. Exemplificare:

O contribuție majoră de impact privind epuizarea resurselor o are etapa de fabricare a pieselor de schimb (52%). Producția de piese de schimb este mai mare decât cea de produse finite, sub aspectul volumelor de producție și implică o cantitate de materie primă folosită (Fig. 5.2). Vorbind despre încălzirea globală, emisia gazelor de eșapament în etapa de utilizare, aduce o contribuție de peste 77%. Up-stream-ul combustibilului este al doilea contributor datorită procesului de rafinare al țițeiului (14%). O contribuție semnificativă o are și etapa procesului de fabricare (Fig. 5.3).

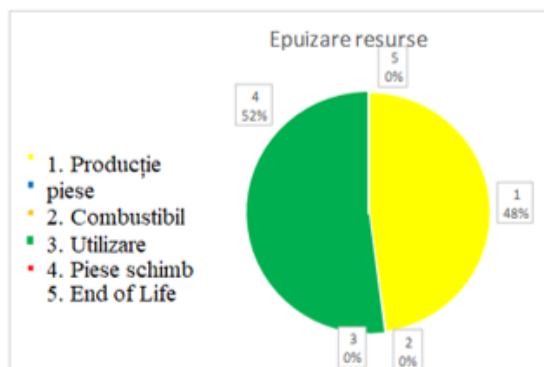


Fig. 5.2. Contribuția etapelor ciclului de viață la epuizarea resurselor

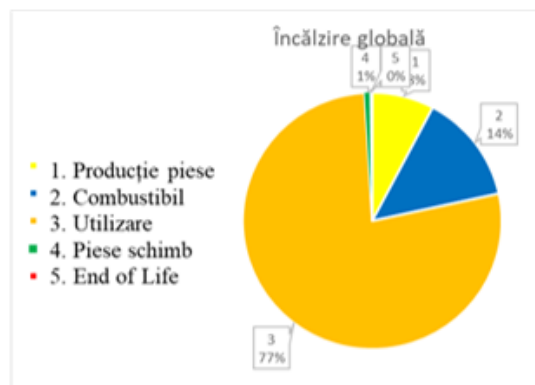


Fig. 5.3. Contribuția etapelor ciclului de viață la încălzirea globală

5.2. Analiza impactului ecologic al unor elemente utilizate în mentenanța autovehiculelor

Impactul ecologic al procesului de mentenanță al autovehiculelor, în funcție de principalele elemente (piese de schimb, anvelope, lubrefianți, acumulatori) a fost calculat și sintetizat în Tabelul 5.2, în baza datelor menționate în § 2.3.

Tab. 5.2. Impactul de mediu al unor componente utilizate în mentenanța autovehiculelor, pe toată durata de exploatare a acestora

Categoria de impact	Unitate de măsură	Piese de schimb	Acumulatori	Ulei de motor	Anvelope
1. Epuizarea resurselor	kg DCB - eq	4,88	3,27	1,58	16,06
2. Încălzirea globală	kg DCB - eq	3,23	1,24	2,81	4,65
3. Deteriorarea stratului de ozon	kg PO ₄ - eq	53,95	21,12	0,05	14
4. Oxidarea fotochimică	kg DCB - eq	11,75	0	0,05	0
5. Acidificarea	kg CFC 11 - eq	49,33	0,02	0,02	0,01
6. Eutrofizarea	kg C ₂ H ₄ -eq	5,87	0	0,05	0
7. Emisia de particule PM 2,5	kg CO ₂ - eq	5,64	3,23	0,004	2620
8. Utilizarea energiei primare	kg SO ₂ - eq	10,52	15,23	0	11,98
9. Deșeurile rezultate	kg	96,06	13,8	44,29	135

Rezultatele prezentate în tabelul de mai sus trebuie analizate. Pentru fiecare dintre factorii ce contribuie la impactul ecologic, putem cuantifica contribuția fiecărui component luat în considerare. Graficele se referă la 1 ■ piese de schimb, 2 ■ acumulatori, 3 ■ lubrefianți și 4 ■ anvelope.

O contribuție majoră de impact privind epuizarea resurselor o are consumul de anvelope (62%), urmată de piesele de schimb folosite în activitatea de mentenanță (19%). Acest lucru este ilustrat în Fig. 5.11.

Vorbind despre încălzirea globală, anvelopele utilizate aduc o contribuție de peste 39%. Al doilea contributor la încălzirea globală în activitatea de întreținere și reparații este cel fabricării pieselor de schimb (27%). O contribuție semnificativă o au și lubrefianții folosiți (Fig. 5.12).

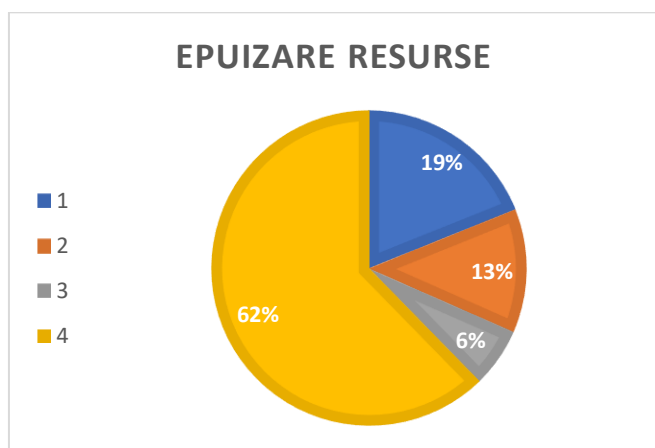


Fig. 5.11. Contribuția unor componente de schimb la epuizarea resurselor

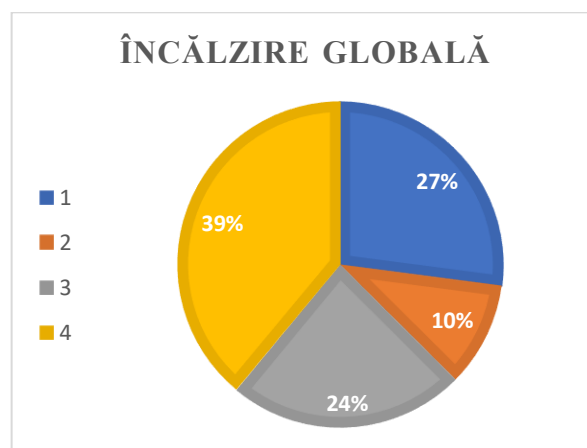


Fig. 5.12. Contribuția unor componente de schimb la încălzirea globală

Contribuția la impactul ecologic al procesului de mentenanță al autovehiculelor, în funcție de principalele elemente (piese de schimb, anvelope, lubrefianți, acumulatori) a fost calculat și sintetizat în Tabelul 5.3, în baza datelor menționate în § 2.3 și a celor din Tabelul 5.2.

Tab. 5.3. Contribuția procentuală, pe categorii ale impactului de mediu, a unor componente utilizate în mentenanța autovehiculelor

Categoria de impact	Piese de schimb [%]	Acumulatori [%]	Ulei de motor [%]	Anvelope [%]
1. Epuizarea resurselor	2,31	2,38	0,01	1,57
2. Încălzirea globală	0,11	0,2	0,04	0,1
3. Deteriorarea stratului de ozon	25,54	44,44	6,35	14
4. Oxidarea fotochimică	5,56	7,81	0,95	7,17
5. Acidificarea	23,35	1,25	0,01	2,15
6. Eutrofizarea	2,78	4,35	1,07	2,16
7. Emisia de particule PM 2,5	2,67	0,46	33,94	1,49
8. Utilizarea energiei primare	4,98	5,32	0	0,05
9. Deșeurile rezultate	32,69	33,7	57,62	71,34

Graficele se referă la 1 ■ epuizarea resurselor, 2 ■ încălzire globală, 3 ■ deteriorarea stratului de ozon, 4 ■ oxidare fotochimică, 5 ■ acidificare, 6 ■ eutrofizare, 7 ■ emisia de particule PM 2,5, 8 ■ utilizarea energiei primare și 9 ■ deșeurile rezultate.

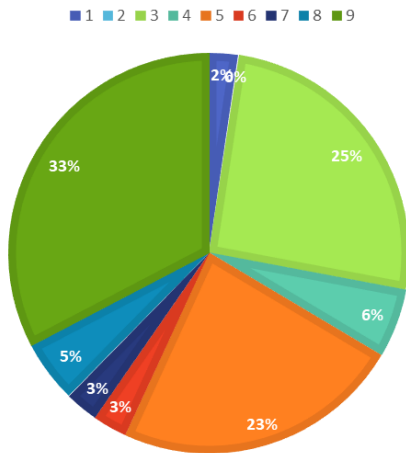


Fig. 5.15. Impactul de mediu al pieselor de schimb

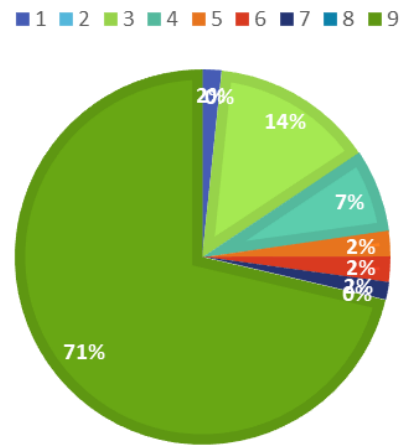


Fig. 5.16. Impactul de mediu al anvelopelor

5.3. Dezvoltarea unui element de modelare referitor la reducerea impactului asupra mediului prin reciclare

Modelarea reducerii impactului asupra mediului constă în analiza reutilizării în procesul de fabricație a materialelor reciclate. Această abordare face ca impactul asupra mediului din studiul LCA să fie completat cu includerea în modelul matematic al reciclărilor materialelor colectate în acest scop. Scenariile de reciclare și tratare a deșeurilor sunt părți importante ale studiului LCA. Limitele sistemului propus sunt legate de fabricarea mai multor tipuri de produse prin aceleași procese; fabricarea de produse de tip asemănător prin procese tehnologice diferite; reciclarea succesivă etc.

Să luăm în considerare fabricarea unei piese de schimb pentru autovehicule. Aceasta este de cele mai multe ori un subansamblu format din mai multe piese din materiale diferite. Impactul asupra mediului folosind materie primă nouă propun să fie descris de ecuația (5.9):

$$EI_1 = \sum_{i=1}^n M_i \cdot I_{i1} \tag{5.9}$$

unde EI_1 reprezintă impactul total asupra mediului în cazul producției din materie primă nouă; M_i este masa unui material component al piesei de schimb; I_{i1} reprezintă impactul asupra mediului al producției unei piese de schimb cu materialul i , raportat la masa acestuia; i este tipul materialului ce intră în componența piesei de schimb, iar n este numărul total de materiale folosite în fabricarea piesei de schimb.

În cazul folosirii doar a materialelor reciclate, impactul asupra mediului propun să fie descris de ecuația (5.10):

$$EI_2 = \sum_{i=1}^n M_i \cdot I_{i2} \tag{5.10}$$

Dacă pentru fabricarea piesei de schimb se poate folosi materie primă nouă în combinație cu materiale reciclate. Ecuația propusă (5.11) trebuie să țină seama de semnificațiile ponderilor p_{i1} și p_{i2} , cu ajustările necesare.

$$EI_2 = \sum_{i=1}^n M_i \cdot (p_{i1} \cdot I_{i1} + p_{i2} \cdot I_{i2}) \quad (5.11)$$

unde p_{i1} reprezintă procentul de materialului nou, i , folosit în fabricarea piesei de schimb și p_{i2} reprezintă procentul de materialului reciclat, i .

În acest caz, evitarea impactului negativ al depozitării deșeurilor prin fabricarea unei alte piese de schimb de același tip sau tip diferit din materiale reciclabile sau recuperarea energiei (producție de energie) ia forma relației (5.13) ce descrie elementul de modelare propus [29]:

$$EI_A = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot p_{i1}) \cdot (1 - r_i) \cdot (I_{i1} + I_{i2}) \quad (5.13)$$

unde EI_A reprezintă impactul total asupra mediului evitat.

5.4. Dezvoltarea unui element de modelare referitor la reducerea impactului asupra mediului prin recondiționare

Dezvoltarea elementului de modelare referitor la reducerea impactului asupra mediului constă în analiza recondiționării unor piese în vederea reutilizării acestora. Limitele sistemului propus sunt legate de ponderea pieselor recondiționate raportate la piesele recondiționabile; diversitatea proceselor tehnologice de recondiționare pentru același tip de piese; recondiționarea succesivă etc.

În cazul recondiționării piesei, impactul asupra mediului este dat de impactul asupra mediului dat de partea refolosită a piesei recondiționate, impactul asupra mediului dat de materialul folosit la recondiționare și impactul asupra mediului dat de procesul de recondiționare. Impactul asupra mediului dat de partea refolosită a piesei recondiționate propun a fi descrisă de expresia (5.15):

$$EI_r = q \cdot M \cdot I_n \quad (5.15)$$

unde EI_r reprezintă impactul asupra mediului rezultat din procesul de realizare al părții refolosite a piesei și q este ponderea masei părții refolosite a piesei raportate la masa acesteia.

Recondiționarea pieselor este eficientă din punct de vedere al reducerii impactului asupra mediului doar dacă este îndeplinită relația (5.18):

$$EI_n - EI_{rec} > 0 \quad (5.18)$$

În acest caz, impactul total asupra mediului evitat prin recondiționare este dat de expresia (5.19) ce descrie elementul de modelare propus:

$$E_{evitat} = (1 - q) \cdot M \cdot (I_m + I_{proces} - I_n) \quad (5.19)$$

Capitolul 6. Dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor

6.1. Criterii de optimizare a strategiilor de mentenanță

Următoarea listă de criterii poate fi utilizată pentru optimizarea procesului de mentenanță, în funcție de cerință:

- Costul mentenanței;
- Disponibilitate;
- Mentenabilitate;
- Risc privind siguranța în exploatare;
- Managementul personalului;
- Inventarul pieselor de schimb;
- Calitatea mentenanței;
- Numărul autovehiculelor aflate în mentenanță;
- Optimizarea ciclului de viață;
- Logistică;
- Fiabilitate;
- Eficacitatea echipamentului folosit.

Eficiența controalelor tehnice periodice, suplimentare reviziilor recomandate de producător, este evaluată prin costurile acestora raportate la numărul acestora. Modelele matematice sunt propuse pentru calcularea indicatorilor de mentenanță pentru o distribuție Weibull a timpului până la defectare. Se urmărește reducerea costurilor legate de acestea în condițiile păstrării disponibilității autovehiculelor în exploatare.

6.2. Elemente de modelare a costului procesului de mentenanță preventivă

Rezultatele controalelor tehnice periodice sunt împărțite în următoarele patru categorii:

- n_1 cazuri în care există simptome de degradare sau defectare și sunt detectate, cu probabilitatea p_1 ;
- n_2 cazuri când există simptome de degradare sau de defectare, dar nu sunt detectate, astfel, se produce defecțiunea, cu probabilitatea p_2 ;
- n_3 cazuri în care autovehiculele sunt într-o stare normală, iar CTP indică acest rezultat, cu probabilitatea p_3 ;
- n_4 cazuri în care autovehiculele sunt într-o stare normală, dar CTP indică deteriorarea sau simptomele de defecțiune (alarmă falsă), cu probabilitatea p_4 .

Dacă defectarea autovehiculului are loc la timpul τ , $\tau \in (k\Delta t, (k+1)\Delta t]$, atunci p_1 , conform legii de repartiție Weibull, pentru introducerea în mentenanță, probabilitatea p_1 devine rata (intensitatea) de defectare, corectată cu probabilitatea p_{ctp} este descrisă de funcția propusă (6.8):

$$p_1 = Z(\tau) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\tau - \alpha}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot p_{ctp} \quad (6.8)$$

unde τ este parametru de timp, β reprezintă un parametru de formă care modelează forma curbelor graficelor intensității de defectare, calibrând comportarea autovehiculelor în diferite perioade ale vieții pieselor, subansamblurilor (constant pe intervale) și η parametru de scară care din punct de vedere grafic, ajustează lungimea acestuia în raport cu timpul distribuției legii Weibull (constant). Probabilitatea p_{ctp} este o valoare medie ce ține seama de dotările atelierului de unde se execută controlul și de competența personalului ce este implicat în această activitate.

Probabilitățile p_2 , p_3 și p_4 , se calculează cu funcțiile propuse (6.9), (6.10) și (6.11).

$$p_2 = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\tau - \alpha}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot (1 - p_{ctp}) \quad (6.9)$$

$$p_3 = \left(1 - \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\tau - \alpha}{\eta}\right)^{\beta-1}\right) \cdot p_{ctp} \quad (6.10)$$

$$p_4 = \left(1 - \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\tau - \alpha}{\eta}\right)^{\beta-1}\right) \cdot (1 - p_{ctp}) \quad (6.11)$$

Pentru a scoate în evidență CTP, în funcție de costul mentenanței, se vor considera următoarele :

- timpul în care autovehiculul a fost imobilizat ca defect, datorat lipsei pieselor de schimb sau a locului la postul de control, T_d
- timpul mediu în care autovehiculul a reparat, t_{rc} , constant
- timpul în care autovehiculul a fost verificat periodic, t_{ctp} , constant

Problema determinării costului unui CTP, depinde de numărul acestora, notat cu N . Costul mediu de mentenanță [31] este calculat în acest caz cu expresia dezvoltată (6.12):

$$\begin{aligned} C_M = N \cdot \{ & p_1 \cdot [t_{ctp} \cdot c_{ctp} + t_{rc} \cdot c_{rc} + (t_{ctp} + t_{rc}) \cdot c_{inl} + (t_{ctp} + t_{rc}) \cdot c_i + C_{ps}] \\ & + p_2 \cdot [t_{ctp} \cdot (c_{ctp} + c_{inl} + c_i) + t_{rc}(c_{rc} + c_{inl} + c_i) + C_{ps}] \\ & + p_3 \cdot t_{ctp} \cdot (c_{ctp} + c_{inl} + c_i) \\ & + p_4 \cdot [t_{ctp} \cdot c_{ctp} + t_{rc} \cdot c_{rc} + (t_{ctp} + t_{rc}) \cdot c_{inl} + (t_{ctp} + t_{rc}) \cdot c_i] \} + T_d \cdot c_{inl} \end{aligned} \quad (6.12)$$

unde: c_{ctp} este costul manoperei pe unitatea de timp al verificării periodice; c_{rc} este costul manoperei pe unitatea de timp al reparației; c_{inl} este costul pe unitatea de timp al înlocuirii autovehiculului; c_i este costul pe unitatea de timp al regiei organizației și C_{ps} este costul mediu al pieselor de schimb pe reparație, valori considerate constante.

6.3. Elemente de modelare a disponibilității autovehiculului în condițiile mentenanței preventive

Modelele luate în considerare de mentenanța preventivă, studiate până în prezent, nu iau în considerare probabilitățile deciziilor corecte și incorecte luate de rezultatele controalelor periodice (CTP). Obiectivul îl constituie dezvoltarea unui model de determinare a periodicității optime a CTP, în condițiile maximizării disponibilității autovehiculului.

Deciziile de mentenanță – decizii adevărate (TD) sau decizii false (FD) se iau prin prisma experienței profesionale a decidentului, în funcție de starea autovehiculului, care se poate afla în următoarele situații:

- S1: $B-A(k\Delta t)=x_k \leq 0$, decizia corectă-autovehiculul intră în operații de mentenanță (TD)
- S2: $B-A(k\Delta t)=x_k \geq 0$ și $B-A((k+1)\Delta t)=x_{k+1} \leq 0$, decizia în condiții de incertitudine, autovehiculul intră în operații de mentenanță (TD)
- S3: $B-A(k\Delta t)=x_k \geq 0$ și $B-A((k+1)\Delta t)=x_{k+1} \leq 0$, decizia în condiții de incertitudine, autovehiculul așteaptă următorul CTP (FD)
- S4: $B-A(k\Delta t)=x_k \geq 0$ și $B-A((k+1)\Delta t)=x_{k+1} \geq 0$, decizia în condiții de incertitudine, autovehiculul intră în operații de mentenanță (FD)

- S5: $B-A(k\Delta t)=x_k \geq 0$ și $B-A((k+1)\Delta t)=x_{k+1} \geq 0$, decizia în condiții de incertitudine, autovehiculul așteaptă următorul CTP (TD)

Probabilitatea deciziilor corecte sau greșite depinde în mare măsură de capacitățile de diagnosticare ale dispozitivelor de control și de competența lucrătorilor ce execută CTP. Pentru a încerca o modelare a mentenanței predictive pentru autovehicule controlate tehnic periodic, utile sunt deciziile care conduc la introducerea autovehiculelor la reparații. Probabilitatea unei decizii de introducere a autovehiculelor la reparații este determinată de dezvoltarea (6.16):

$$P_R = \frac{n_1 + n_2 \cdot p_2 + n_3 \cdot (1 - p_3)}{n_1 + n_2 + n_3} = \frac{n_1 + (n_2 + n_3) \cdot p_2}{N} \quad (6.16)$$

Probabilitatea ca autovehiculul să fie utilizat în continuare se determină în concordanță cu ipoteza descrisă de (6.14) și ia forma expresiei (6.17):

$$P_D = \frac{n_2 \cdot (1 - p_2) + n_3 \cdot p_3}{n_1 + n_2 + n_3} \quad (6.17)$$

Problema determinării numărului optim de verificări preventive (CTP) în funcție de criteriul disponibilității, notat cu N , depinde de criteriul de optimizare selectat. Pentru a scoate în evidență CTP, în legătură cu timpul de indisponibilitate, acesta este compus din:

- timpul în care autovehiculul a fost imobilizat ca defect, T_d
- timpul mediu în care autovehiculul a reparat, t_{rc}
- timpul mediu al reviziilor planificate, t_{pm}
- timpul în care autovehiculul a fost verificat periodic, t_{ctp}

Atunci când observarea se face la intervale de timp, date de periodicitatea CTP, (1.21) ia forma expresiei dezvoltate (6.18):

$$D = \frac{T - \{T_d + [n_1 + (n_2 + n_3) \cdot p_2] \cdot t_{rc} + r \cdot t_{pm} + N \cdot t_{ctp}\}}{T} \quad (6.18)$$

Derivând în funcție de N , obținem relația derivată (6.21):

$$\frac{\partial I}{\partial N} = \frac{\partial [n_1 + (n_2 + n_3) \cdot p_2]}{\partial N} t_{rc} + t_{ptc} \quad (6.21)$$

Se obține soluția (6.26):

$$N_{opt} = \frac{t_{ctp}}{\left(1 - \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{\tau - \alpha}{\eta}\right)^{\beta-1}\right) \cdot t_{rc}} \quad (6.26)$$

în care N_{opt} este numărul optim de CTP [30], la timpul de funcționare τ .

6.6. Decizii de optimizare a activităților de mentenanță preventivă

Modelul de decizie propus este modelul de decizie multicriterială ELECTRE.

În vederea optimizării activității de mentenanță, se propun următoarele 5 strategii de mentenanță periodică:

- V1 – mentenanță periodică cu control tehnic lunar;
- V2 – mentenanță periodică cu costuri minime;
- V3 – mentenanță periodică cu disponibilitate maximă;
- V4 – mentenanță periodică prin revizii specificate în cartea tehnică a producătorului;
- V5 – mentenanță periodică cu impact minim asupra mediului.

Criteriile ce caracterizează variantele de mai sus propuse sunt:

- C1 – costul total al mentenanței / nr. autovehicule de același tip;
- C2 – cantitatea de deșeuri și emisii poluante / nr. autovehicule de același tip;
- C3 – valoarea investițiilor / numărul total de autovehicule;
- C4 – volumul pieselor recondiționate, refolosite și reciclate sau regenerate;
- C5 – utilizarea de procese ecotehnologice moderne;
- C6 – volumul pieselor de schimb;
- C7 – cantitatea de ulei utilizată

Capitolul 7. Studiu de caz privind elemente de optimizare a procesului de mentenanță pentru autovehicule

7.1. Caracteristicile parcului de autovehicule aflate în mentenanță

Datele statistice au fost obținute prin analiza a două eșantioane de autoturisme cu caracteristici diferite.

Un prim eșantion de 50 de autoturisme ale aceleiași producător, aceleași modele, cu anii de construcție și punere în funcțiune 2005 (25 de autoturisme lot 1) și restul în 2007 (lot 2) este constituit din autoturisme berlină, propulsate de motoare Otto, cu norma de poluare Euro4. Dintre autovehiculele fabricate în 2005, 3 au fost scoase din circulație după 13 ani, 10 după 14 ani și dintre cele fabricate în 2007 au fost retrase 2 după 12 ani. Durata medie de viață este estimată momentan la 13 ani și rulaj mediu de 312.000 de km.

Un al doilea eșantion este format din 51 de autoturisme 4x4, cu anul de fabricație și punere în exploatare 2014, propulsate de motoare Diesel, cu norma de poluare Euro5. Durata medie de viață este estimată momentan la 12,5 ani și rulaj mediu estimat inițial de 450.000 de km. Până în prezent (mai 2021), acestea au un parcurs mediu de 197.000 km.

7.2. Date semnificative referitor la organizația unde se realizează activitatea de mentenanță

Direcția pentru transporturi asigură mijloacele de transport necesare bunei desfășurări ale activităților specifice instituției și prin serviciul de întreținere și reparații. Atelierul de reparații și întreținere auto, în baza actului de desfășurare a activităților de testare și analiză tehnică, este autorizat de Registrul Auto Român, conform reglementărilor. Există rampe și fluxuri separate pentru:

- controale tehnice periodice;
- reparații ale defectelor semnalizate de conducătorul auto sau depistate cu ocazia controalelor tehnice periodice;
- reparații predictive în baza analizei datelor obținute la controalele periodice;
- inspecția tehnică periodică, reglementată prin normative aflate în vigoare.

7.3. Elemente de optimizare a periodicității controalelor tehnice periodice în funcție de criteriul disponibilității autovehiculelor

Abordarea statistică în calibrarea modelului dezvoltat în paragraful §6.3, respectiv relația (6.26), a ținut cont de etapele de viață ale autovehiculelor. Pentru automobilele berlină, s-au obținut următoarele date :

- periodicitatea Controlului Tehnic Periodic, cu acronimul CTP, lunar
- periodicitatea RT-2, considerată Revizie Tehnică Anuală, anual sau la 10000 km parcursi pentru lotul din 2005 și 15000 km pentru lotul din 2007 și pentru lotul de automobile SUV.
- timpul mediu al CTP este de 2 ore, $t_{ctp}=2ore$
- timpul mediu al RT-2 este de 4 ore, $t_{pm}=4ore$

Datele de intrare, culese din dosarul privind istoricul mentenanței fiecărui autovehicul sunt sintetizate în Tabelul 7.1.

Tab. 7.1. Date statistice de intrare pentru calibrarea modelului – automobile berlină

Perioada considerată	Stagiul de viață	N	n ₁	p ₁	n ₂	p ₂	n ₃	p ₃
1	Căderi timpurii	6	2	1	1	0,7	3	0,3
2	Restul primei durate normată de viață	54	2	1	32	0,8	20	0,2
3	A doua durată normată de viață	60	4	1	28	0,75	28	0,25
4	A treia durată normată de viață- Perioada îmbătrânirii	36	15	1	18	0,66	3	0,34

Numărul total optim de revizii CTP în funcție de timpul de exploatare este ilustrat grafic în Fig. 7.1.

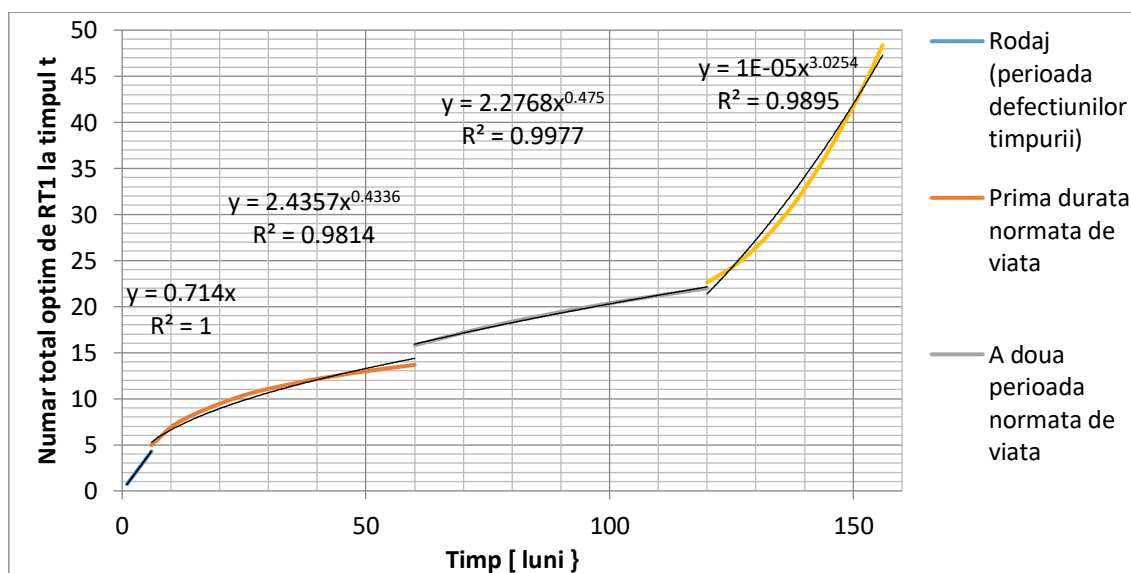


Fig. 7.1. Variația numărului total optim de CTP la timpul t, pentru berlină

Se calibrează funcția ce conține elemente de modelare a mentenanței pentru parcul deținut în condițiile exploatarei specifice acestuia și se obțin valorile lui β și λ pentru etapele ciclului de exploatare:

$$\beta_1=2; \beta_2=1,48; \beta_3=1,48; \beta_4=4,03$$

$$\lambda_1=0,36; \lambda_2=1,65; \lambda_3=1,54; \lambda_4=2,48 \times 10^{-6}$$

7.4. Elemente de optimizare a periodicității controalelor tehnice periodice în funcție de criteriul costului mentenanței autovehiculelor

Față de înregistrările statistice folosite anterior, au fost adăugate și elemente de cost :

- costul manoperei pe unitatea de timp (oră) al verificării periodice $c_{ctp} = 50 \text{ u.m.}$;
- costul manoperei pe unitatea de timp al reparației $c_{rc} = 50 \text{ u.m.}$;
- costul pe unitatea de timp al înlocuirii autovehiculului $c_{int} = 12,5 \text{ u.m.}$;
- costul pe unitatea de timp al regiei organizației $c_i = 9 \text{ u.m.}$;
- costul mediu al pieselor de schimb pe reparație $C_{ps} = 157 \text{ u.m.}$.

Datele de intrare sunt sintetizate în Tabelul 7.3.

Tab. 7.3. Date statistice de intrare pentru calibrarea modelului de cost, pentru berline

Perioada considerată	Stagiul de viață	N	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄
1	Căderi timpurii	6	3	1	1	1
2	Etapa de exploatare	114	28	61	19	14
3	Perioada îmbătrânirii	36	25	8	2	1

În acest caz, din interpretarea grafică a informațiilor culese experimental, prin simplificarea (6.13) la forma (7.2) au fost determinați parametrii Weibull $K\beta$ și λ prin funcția *add trendline* a editorului de grafice, cu specificarea funcției și a gradului de concordanță, R .

$$\frac{C_M}{N}(t) = K \cdot \beta \cdot \lambda \cdot t^{\beta-1} \tag{7.2}$$

unde: K este un factor de corecție ce ține seama valorile de timp și cost specifice mentenanței autovehiculelor din prezentul studiu de caz.

Estimarea costului mediu al mentenanței cu ocazia controalelor tehnice periodice, CTP, este ilustrată în Fig.7.3. Valorile parametrilor obținuți sunt:

$$\beta_1=1,13; \beta_2=0,99; \beta_3=1,67$$

$$K\lambda_1=561; K\lambda_2=498; K\lambda_3=12043$$

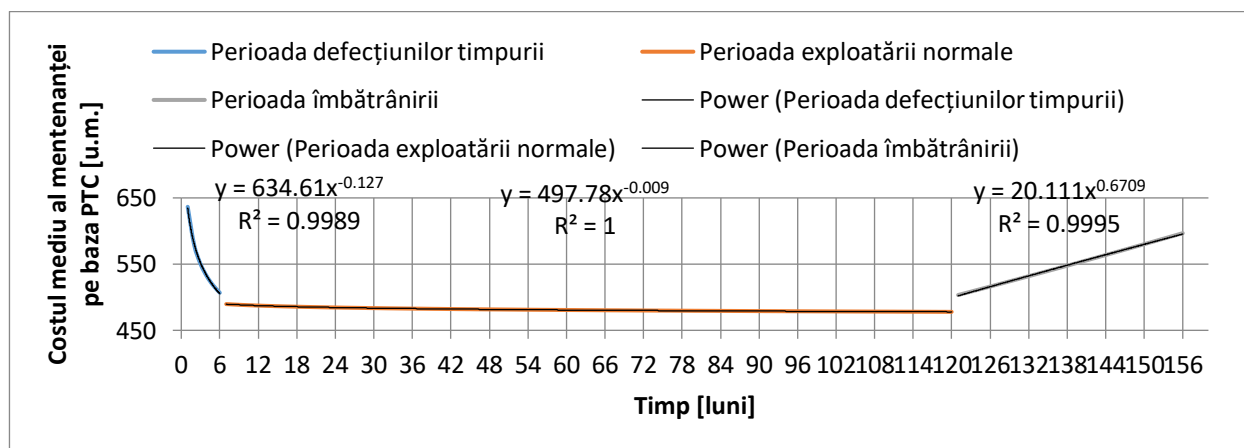


Fig. 7.3. Estimarea costului mediu al mentenanței cu ocazia controalelor CTP

Capitolul 8. Reducerea impactului ecologic al mentenanței autovehiculelor prin implementarea sistemului de management de mediu

Această cercetare a fost realizată în zona metropolitană București, în perioada 2019-2021.

Alegerea celor 17 prestatori de servicii în domeniul întreținerii și reparațiilor auto s-a făcut ținând cont de relațiile contractuale pe care proprietarul parcului auto le are pentru întreținerea autovehiculelor sale.

O îmbunătățire semnificativă în tratarea și eliminarea deșeurilor a fost observată în unitățile care au implementat sisteme de management de mediu. Fig. 8.5. reprezintă media ponderată a conformității cu anumite cerințe în evaluarea unui impact asupra mediului. O medie ridicată este mai mare în ceea ce privește preocupările de mediu.

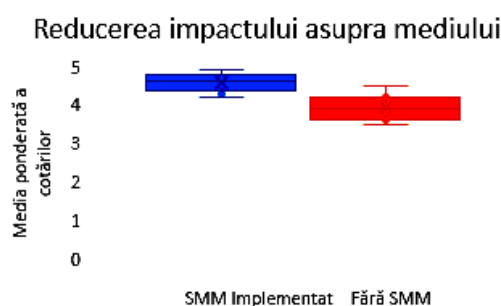


Fig. 8.5. Analiză comparativă între tipurile de ateliere cu privire la potențialul de reducere a impactului asupra mediului

Pentru organizațiile care au implementat un sistem de management de mediu, valoarea medie a potențialului de reducere a impactului asupra mediului a fost cotelă 4,58, cu o abatere standard de 0,21, iar celelalte au avut o valoare medie de 3,93 cu un standard de abatere de 0,32

Rezultatele studiului au arătat că din punct de vedere al reglementărilor legale legate de mediu, 59% dintre angajați au urmat cursuri de formare formală, dintre care 87,5% proveneau de la servicii care aveau implementat cel puțin un sistem de management de mediu. În ceea ce privește instruirea privind gestionarea deșeurilor, 88% din personal a fost instruit, numărul de angajați proveniți din unități atestate sub aspectul sistemului de management fiind cu 50% mai mare decât numărul celor proveniți din celelalte unități. Diferențele pot fi explicate de legătura bidirecțională dintre bugetul alocat și capacitatea companiei de a face față problemelor de mediu, inclusiv acreditarea unui sistem de management. Fig. 8.6. ilustrează ponderea pe categorii de service-uri a bugetului de mediu alocat.

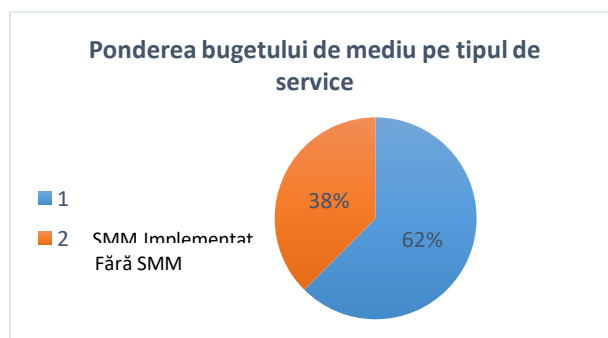


Fig. 8.6. Ponderea bugetului de mediu în funcție de tipul de service analizat

Respondenții au considerat că alocațiile financiare pentru protecția mediului sunt cu 63% mai mari pentru companiile care au implementat un sistem de management de mediu. Cu toate acestea, bugetul de mediu este subdimensionat în comparație cu ceea ce este necesar. Media ponderată a răspunsurilor

indică un buget de 80% din necesar pentru companiile cu sisteme de management implementate și de doar 48% din necesar pentru celelalte companii participante la sondaj. Există cel puțin două motive pentru această discrepanță: obsesia pentru profitabilitatea majorității serviciilor multi-brand și responsabilitatea socială a dealerilor de mașini, bazată pe bugete totale considerabil mai mari.

Capitolul 9. Concluzii finale și contribuții principale la dezvoltarea procesului de mentenanță a autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic

Având în vedere datele și concluziile din analiza stadiului actual al cercetărilor privind mentenanța autovehiculelor în vederea reducerii impactului ecologic, s-au considerat a fi de perspectivă direcțiile de cercetare-dezvoltare referitoare la:

- analiza impactului asupra mediului pe întreg ciclul de viață al autovehiculelor și componentelor de schimb folosite în mentenanța autovehiculelor
- formularea unor modele matematice de eficientizare a controalelor tehnice periodice
- proiectarea unui model de decizie multicriterială economic-ecologic.

Pe baza coeficienților de poluare a fost sintetizat impactul ecologic al autovehiculelor pe etapele întregului ciclu de viață pe tipul de efecte studiate: epuizare resurse, încălzire globală, deteriorarea stratului de ozon, oxidare fotochimică, acidificare, eutrofizare, particule materiale, energia primară și deșeuri. Pentru o imagine sugestivă, rezultatele au fost prezentate grafic (v. § 5.1).

Utilizând coeficienții de poluare, au fost determinate emisiile poluante și deșeurile rezultate determinate de înlocuirea principalelor componente considerate: lubrefianți, piese de schimb (elemente de frânare, ambreiaj, articulații, suspensii), anvelope și acumulatori. Pe baza rezultatelor obținute s-a determinat impactul asupra mediului al componentelor utilizate pe durata totală a exploatarei. Pentru o imagine sugestivă, rezultatele au fost prezentate grafic (v. § 5.2).

Evaluarea teoretică a impactului asupra mediului al componentelor de schimb recondiționate / reciclate a ținut cont de ponderea masei materialelor din care sunt realizate prin reciclare (v. § 5.3) sau prin recondiționare (v. § 5.4).

Optimizarea mentenanței în raport cu criteriile unice este neproductivă deoarece acestea depind unele de altele, influențându-se reciproc. Această problemă este rezolvată prin adoptarea unui număr de criterii și efectuarea unei optimizări multicriteriale. Criteriile precum costul mentenanței, disponibilitatea autovehiculului, inventarul pieselor de schimb, școlarizarea personalului sunt analizate în § 6.1.

Eficiența controalelor tehnice periodice, suplimentare reviziilor recomandate de producător, este evaluată prin costurile acestora raportate la numărul acestora. Modelele matematice sunt propuse pentru calcularea indicatorilor de întreținere pentru o distribuție Weibull a timpului până la defectare. Elementul de noutate îl reprezintă introducerea de probabilități legate de momentul detectării unor simptome de degradare sau defectare în funcție de planificarea controalelor tehnice, realizând prin această nouă abordare o estimare teoretică a costurilor de mentenanță la autovehiculele controlate tehnic periodic. Introducerea unei probabilități de bună diagnosticare este legată atât de dotarea service-ului cu echipamente performante, cât, mai ales, de profesionalismul echipei de diagnosticare și întreținere (v. § 6.2 și § 6.5.1).

Studiul de caz a presupus investigarea mentenanței unor eșantioane de autovehicule sub aspect organizatoric, tehnic și economic pentru a căuta modele (cantitative) de eficientizare a activității de întreținere și reparații și pentru a reliefa cauzele non eficienței (calitativ). Studiul de caz a fost realizat în baza datelor cuprinse în dosarele privind istoricul de întreținere și reparații și al datelor înscrise în

foile de parcurs pentru autovehiculele din cele 3 loturi omogene considerate. Rezultatele obținute s-au comparat cu dezvoltarea teoretică proprie pe baza legii de distribuție Weibull a ratei defectărilor a unor modele matematice ce descriu eficientizarea numărului de controale tehnice periodice în funcție de costul mentenanței (v. § 6.5.1) și de disponibilitatea autovehiculelor (v. § 6.5.2).

Reducerea impactului asupra mediului a operațiunilor de mentenanță a autovehiculelor prin implementarea unui sistem de management de mediu a fost analizată printr-un studiu comparativ între un eșantion de referință, compus din ateliere de întreținere și reparații auto ce nu aveau un sistem de management și eșantionul țintă, format din organizații ce aveau implementat cel puțin un sistem de management integrat calitate mediu, pe baza unui chestionar original privind managementul de mediu și modalitatea de gestionare a unor deșeuri. Un sistem de management presupune identificarea punctelor nevralgice ale sistemului și îmbunătățirea ciclică-permanentă a acestuia pe baza ciclului Deming, explicând în acest fel potențialul de reducere a impactului ecologic al organizațiilor ce își planifică astfel activitatea (v. § 8).

Rezultatele parțiale au fost redactate ca lucrări științifice și au fost prezentate după cum urmează:

- Articolul “Environmental impact assessment regarding predictive maintenance operations for passenger cars based on spare parts life cycle” [29] a fost prezentat în calitate de coautor la Conferința Internațională IBIMA , desfășurată la Madrid în anul 2019. Volumul articolelor sunt indexate de Thomson Reuters (Web of Sciences) din 2006.
- Articolele “Periodic control optimization according to availability for vehicles“ [30] și “Theoretical estimation of maintenance costs for periodically controlled vehicles“ [31] au fost prezentate la Conferința Internațională COMEC, organizată de Universitatea din Brașov în anul 2019. Articolele prezentate sunt publicate volumul conferinței, publicație cotate BDI.
- Articolul “ Reducing the environmental impact of vehicle maintenance activities by implementing an integrated quality-health-environment management system. A comparative analysis.” este acceptat pentru publicare în revista Scientific Bulletin – PUB, indexată ELSEVIER.

Contribuții teoretice

- Se analizează ciclul de viață al autovehiculelor, cu accent pe mentenanța în exploatare, prin prisma caracteristicilor de calitate din industria constructoare de autovehicule și a tendințelor actuale de reparare-recondiționare și fabricare a pieselor de schimb.
- Se realizează o dezvoltare a unor elemente de modelare ale impactului asupra mediului pe întreg ciclul de viață al autovehiculelor și se sintetizează rezultatele obținute.
- Se efectuează o analiză teoretică referitoare la criteriile de optimizare a strategiilor de mentenanță și se dezvoltă elemente de modelare matematice ale costului, disponibilității și impactului ecologic ale activităților de mentenanță ale autovehiculelor.
- În baza elementelor de modelare dezvoltate, se identifică vulnerabilități și în urma unei analize multicriteriale, descrise, pot fi luate decizii de optimizare.

Contribuții practice

- Au fost aplicate rezultatele obținute teoretic, asupra unei organizații cu parc auto propriu și atelier de întreținere și reparații auto, în scopul calibrării elementelor de modelare dezvoltate.
- Reducerea impactului asupra mediului este analizată și prin prisma implementării unui sistem integrat de management calitate – sănătate și securitate în muncă – mediu.

Bibliografie selectivă

7. Amza, Gh., *Ecotehnologie și dezvoltare durabilă, vol.1 și 2*, Editura Printech, București, 2009.
9. Andreescu, C., Anghelache, G. & Toma, M., *Mentenanța mijloacelor de transport*, Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, București, 2011
29. Cucu, S., Dumitru, B., Environmental impact assessment regarding predictive maintenance operations for passenger cars based on spare parts life cycle. *IBIMA Conference*, Madrid, 2019.
30. Cucu, S., Dumitru, B., Periodic control optimization according to availability for vehicles. *COMEC Conference*, Universitatea din Brașov, 2019.
31. Cucu, S., Dumitru, B., Theoretical estimation of maintenance costs for periodically controlled vehicles. *COMEC Conference*, Universitatea din Brașov, 2019.
32. Cucu, S., Dascălu, Loredana, Dumitru, B., Radu, C., Solomon, Gh., Reducing the environmental impact of vehicle maintenance activities by implementing an integrated quality-health-environment management system. A comparative analysis, *Scientific Bulletin – PUB*.
34. Deneș, C., *Fiabilitatea și mentenabilitatea sistemelor tehnice*, Editura Alma Mater, Sibiu, 2003.
35. Denton, T., Advanced Automotive Fault Diagnosis: Automotive Technology. *Vehicle Maintenance and Repair*, Routledge, 2016.
37. Ding, S.-H., Kamaruddin, S., Maintenance policy optimization—literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 1263-1283, 2015.
39. Dombrowski, U., Quantschnig, M., Requirements of reconditioning used parts in spare-parts management, *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2009, 10.3139/104.110071
47. Furch, J., New trends in a vehicle maintenance system. *Advances in Military Technology*, 5(2), 1-9, 2010.
56. Hedvall, K., Dubois, A., & Lind, F., Analysing an activity in context: A case study of the conditions for vehicle maintenance. *Industrial Marketing Management*, 58, 69-82, 2016.
61. Jeler, G.E., *Fiabilitatea și mentenabilitatea sistemelor – curs universitar*, Academia Tehnică Militară, București, 2019
105. Șoica, A. O., Popescu, R. M., Aspects regarding CAR parts reconditioning by using rendering procedure, *Metalurgia International*, 2010.
127. *** European Commission, *A study about the benefits of the End of Life Vehicles Directive and the costs and benefits of a revision of the 2015 targets for recycling, re-use and recovery under the ELV Directive*, European Commission DG Environment, 2006.