



UNIVERSITATEA din PITEȘTI

Școala doctorală: INGINERIA AUTOVEHICULELOR

Ing. Andrei-Alexandru BOROIU

***STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND REDUCEREA
POLUĂRII FONICE PRODUSE DE AUTOVEHICULE
PRIN ORGANIZAREA CIRCULAȚIEI RUTIERE***

TEZĂ DE DOCTORAT

• REZUMAT •

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Ion TABACU

Comisia de îndrumare:

Prof. univ dr. ing. Dinel POPA

Prof. univ dr. ing. Viorel NICOLAE

Prof. univ dr. ing. Sebastian PÂRLAC

2017

CUVÂNT ÎNAINTE

“Cuvântul înainte” - această minusculă (dar necesară) parte a unei lucrări de anvergură, așa cum este o teză de doctorat – prezintă o particularitate definitorie: este acea parte a lucrării care se scrie ultima, dar se așează la începutul lucrării.

Este motivul pentru care trebuie să fie o prezentare a gândurilor autorului la momentul finalizării tezei, iar principala senzație pe care o am – acum, la final - este că realizarea unei teze de doctorat presupune trecerea autorului printr-o succesiune de stări imprevizibile – pornind de la entuziasmul inițial și încrederea în justetea obiectivelor formulate, continuând cu numeroase reveniri, renunțări, re poziționări, remontări, noi momente de entuziasm, până la satisfacția legării tuturor rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale într-o succesiune logică, coerentă, cu finalitate.

Faptul că tema lucrării de doctorat reprezintă o problemă de actualitate, din ce în ce mai acută – poluarea fonică rutieră – și cum poluarea este considerată una din cele mai îngrijorătoare probleme ale omenirii, o problemă globală, a constituit un imbold major pentru a mă dedica explorării tuturor posibilităților prin care zgomotul rutier poate fi ținut sub control.

Căutările pe care le impune o astfel de cercetare complexă oferă numeroase ocazii de a medita asupra unor aspecte care în mod normal sunt acceptate ca așerțiuni, dar care oferă de fapt provocatoare oportunități de cercetare. Cel mai relevant exemplu în acest sens, prezentat în lucrare, este imposibilitatea de precizare exactă a proporțiilor în care fluxurile rutiere urmează diferitele direcții într-o intersecție în sens giratoriu, etapă care este depășită în cadrul algoritmilor utilizați pentru modelarea traficului rutier prin estimări arbitrare. În urma acestei constatări incitante a fost dezvoltată o cercetare teoretică riguroasă ce a condus, în final, la rezolvarea acestei probleme: s-a demonstrat că problema este rezolvabilă analitic pe baza fluxurilor ce pot fi măsurate cu observatori ficși, au fost determinate relațiile de calcul și au fost realizate programele de calcul aferente în limbajul Java - programe ce pot completa softurile dedicate microsimulării traficului rutier.

Lucrarea cumulează cercetările, teoretice și experimentale, pe care le-am realizat de-a lungul acestor ani de doctorantură, perioadă de timp în care a trebuit să intervin continuu pentru organizarea logică a rezultatelor obținute, astfel că mereu mi-am amintit anecdota cu maestrul care se întâlnește cu discipolul său și îl întreabă:

- Ce mai faci?
- Tot timpul muncesc, maestre, răspunde discipolul.
- Nu este bine. Trebuie să mai și gândești.

Dar ceea ce m-a responsabilizat în mod deosebit în acest demers științific a fost încrederea pe care am simțit-o permanent din partea conducătorului meu de doctorat, *domnul Prof. univ. dr. ing. Ion TABACU*, personalitate științifică consacrată în domeniul ingineriei autovehiculelor, căruia doresc să îi aduc mulțumirile mele pentru atenta îndrumare pe care mi-a acordat-o, pentru sprijinul continuu de care am beneficiat, și să îl asigur de profunda mea prețuire.

De asemenea, doresc să le mulțumesc celor trei mentori care au fost alături de mine de-a lungul acestei perioade de doctorantură: *domnului Prof. univ. dr. ing. Sebastian PÂRLAC*, responsabil al laboratorului de Vibrații și Zgomote, pentru solitudinea manifestată și ajutorul pe care l-am primit în organizarea și desfășurarea cercetărilor experimentale cu privire la zgomotul rutier; *domnului Prof. univ. dr. ing. Dinel POPA* și *domnului Prof. univ. dr. ing. Viorel NICOLAE*, pentru sfaturile utile și încurajările permanente.

O colaborare deosebită în activitatea de publicare a rezultatelor științifice obținute, ca și în activitatea didactică, am avut cu *doamna Conf. univ. dr. ing. Elena NEAGU*, căreia îi exprim calde mulțumiri. Am fost mereu încurajat și îndemnat, cu tact pedagogic și afecțiune, de *domnul Prof. univ. dr. ing. Florian IVAN*, pe care îl asigur de respectul meu. Pentru sfaturile și sugestiile pe care mi le-au oferit în permanență, adresez mulțumiri tuturor cadrelor didactice din Departamentul Autovehicule și Transporturi.

Apreciez susținerea deosebită pe care am avut-o și din partea autorităților locale - Primăria municipiului Pitești și Consiliul Județean Argeș, care au manifestat interes pentru cercetările realizate și pentru promovarea propunerilor de reorganizare a circulației rutiere în scopul îmbunătățirii traficului rutier și a reducerii poluării fonice.

Și, nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei, care m-a înțeles, m-a susținut și m-a încurajat constant.

Toate acestea au constituit un climat favorabil pentru desfășurarea în cele mai bune condiții a activităților de documentare și de cercetare - teoretică și experimentală, care au permis atingerea obiectivelor stabilite pentru teza de doctorat.

Pitești, iunie 2017

ing. Andrei-Alexandru BOROIU

CUPRINS

	<i>Teză</i>	<i>Rezumat</i>
Cap.1. PROBLEMATICA ZGOMOTULUI GENERAT DE TRAFICUL RUTIER. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	7	7
1.1. Introducere. Efectele zgomotului asupra organismului uman	7	7
1.2. Politica europeană cu privire la zgomotul ambiental. Planuri de acțiune	9	8
1.3. Obiectivele tezei de doctorat	16	13
Cap. 2. STADIUL ACTUAL ÎN MODELAREA TRAFICULUI RUTIER. CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PROPRII	19	15
2.1. Parametrii traficului rutier	19	15
2.2. Parametrii microscopici	21	15
2.2.1. <i>Viteza vehiculului singular</i>	21	15
2.2.2. <i>Intervalele dintre vehicule</i>	22	-
2.2.3. <i>Parametrii procesului de depășire</i>	25	16
2.3. Parametrii macroscopici	28	17
2.3.1. <i>Volumul de trafic</i>	29	-
2.3.2. <i>Densitatea traficului</i>	30	-
2.3.3. <i>Viteza traficului</i>	30	18
2.4. Modelarea traficului rutier	31	18
2.5. Evaluarea curenților de trafic din intersecțiile în sens giratoriu pe baza fluxurilor măsurate în puncte fixe	43	28
2.5.1. <i>Intersecția în sens giratoriu cu 3 brațe</i>	49	32
2.5.2. <i>Intersecția în sens giratoriu cu 4 brațe</i>	52	35
2.5.3. <i>Sinteza rezultatelor obținute în urma cercetărilor teoretice</i>	54	37
2.6. Realizarea programelor de calcul pentru volumele de trafic din intersecțiile în sens giratoriu	55	37
2.7. Utilizarea metodei analitice de evaluare a fluxurilor rutiere pentru îmbunătățirea circulației rutiere din intersecțiile în sens giratoriu	58	-
2.8. Realizarea programelor de calcul pentru volumele de trafic din intersecțiile în sens giratoriu pentru cazul includerii parametrului PHF	62	40
2.9. Studiul posibilităților de creștere a nivelului de serviciu al unei intersecții rutiere prin transformarea acesteia în intersecție cu sens giratoriu	63	41
2.10. Validarea modelelor de trafic	68	43
2.11. Concluzii, contribuții teoretice și realizări proprii	72	46
Cap. 3. ZGOMOTUL RUTIER. CONCEPTE, FACTORI DETERMINANȚI ȘI PRINCIPII DE EVALUARE	79	49
3.1. Percepția zgomotului rutier	79	49
3.2. Mărimi acustice	83	50
3.2.1. <i>Presiunea acustică</i>	84	-

3.2.2. Intensitatea sonoră	84	-
3.2.3. Puterea acustică	84	-
3.2.4. Nivelul acustic cumulat al mai multor surse	85	-
3.2.5. Nivelul acustic la distanță	86	-
3.2.6. Nivelul de putere acustică emisă	86	50
3.3. Poluarea fonică rutieră	88	51
3.4. Indicatori și valori-limită pentru nivelul de zgomot	92	53
3.5. Factori determinanți pentru nivelul de zgomot rutier	95	54
3.6. Concluzii și contribuții teoretice proprii	98	57
 Cap. 4. MODELE DE PREDICȚIE A ZGOMOTULUI ÎN FUNCȚIE DE TRAFICUL RUTIER	 100	 59
4.1. Introducere	100	59
4.2. Modele statistice	100	59
4.3. Modele cu caracter de standard national	103	61
4.3.1. Modelul german: RLS 90 (1990)	103	61
4.3.2. Modelul francez: NMPB Routes (2008)	104	62
4.3.3. Modelul american: FHWA Traffic Noise Level (1995)	109	63
4.3.4. Modelul britanic: CoRTN procedure (1988)	110	63
4.3.5. Modelul italian: CNR (1991)	111	-
4.3.6. Modelul japonez: ASJ (1993)	112	-
4.3.7. Modelul chinez: GIS Traffic Noise Level (2002)	113	-
4.3.8. Modelul thailandez: ERTC (1999)	114	-
4.4. Modelarea zgomotului rutier cu softul specializat VISUM	115	65
4.4.1. Procedura Noise-Emis	116	65
4.4.2. Procedura Noise-Immis	117	66
4.4.3. Mărimi de intrare pentru calculul zgomotului	118	-
4.5. Analiză comparativă a modelelor de predicție a zgomotului rutier	119	67
4.6. Analiza verosimilității modelelor de predicție a zgomotului rutier	121	68
4.7. Propunerea unui model integrat pentru predicția zgomotului rutier imis	122	68
4.8. Concluzii	124	70
 Cap. 5. PROBLEME DE TRAFIC IDENTIFICATE ÎN ZONA CENTRALĂ A MUNICIPIULUI PITEȘTI ȘI STUDII DE TRAFIC EFECTUATE	 126	 72
5.1. Analize de trafic pentru intersecțiile semaforizate din zona centrală	127	72
5.2. Analize de trafic pentru intersecțiile în sens giratoriu din zona centrală	134	76
5.3. Microsimularea traficului rutier	138	77
5.4. Aplicație: microsimularea traficului rutier în zona centrală a municipiului Pitești cu softul Vissim	141	80
5.5. Concluzii. Propuneri de reorganizare a circulației rutiere	148	82
 Cap. 6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND REDUCEREA POLUĂRII FONICE PRODUSE DE AUTOVEHICULE PRIN ORGANIZAREA CIRCULAȚIEI RUTIERE. STUDIU DE CAZ PENTRU MUNICIPIUL PITEȘTI	 153	 86

6.1. Cercetări anterioare cu privire la zgomotul generat de traficul rutier în municipiul Pitești	153	86
6.2. Evaluări actuale ale zgomotului generat de traficul rutier în municipiul Pitești	157	87
6.3. Rezultate și concluzii în urma măsurărilor efectuate	161	89
6.4. Evaluarea zgomotului rutier în zona centrală a municipiului Pitești	163	91
6.5. Evaluarea nivelului de zgomot în intersecția str. Maior. Șonțu – str. Târgul din Vale	163	91
6.5.1. Măsurarea zgomotului rutier	163	91
6.5.2. Prelucrarea rezultatelor	166	92
6.6. Evaluarea nivelului de zgomot în intersecția Calea București – Calea Bascovului (Podul Viilor)	169	95
6.6.1. Măsurarea zgomotului rutier	169	95
6.6.2. Prelucrarea rezultatelor	171	95
6.7. Evaluarea nivelului de zgomot în intersecția str. Târgul din Vale – str. Gh. Șincai (Rectorat)	171	96
6.7.1. Măsurarea zgomotului rutier	171	96
6.7.2. Prelucrarea rezultatelor	174	96
6.8. Sinteza și analiza rezultatelor obținute prin măsurătorile de zgomot	177	97
6.9. Indicatori de trafic determinanți pentru zgomotul rutier măsurat, obținuți prin măsurători de trafic efectuate simultan cu măsurătorile de zgomot	179	99
6.9.1. Intersecția semaforizată Maior Șonțu	180	100
6.9.2. Intersecția în sens giratoriu Podul Viilor	181	100
6.9.3. Intersecția în sens giratoriu Rectorat	181	100
6.10. Evaluarea zgomotului rutier prin modele de predicție în funcție de trafic	182	101
6.10.1. Evaluarea nivelului de zgomot cu softul New Zealand Transport Agency	183	102
6.10.2. Evaluarea nivelului de zgomot cu softul Dutch 2002	186	103
6.10.3. Concluzii	190	104
6.11. Predicția zgomotului rutier în cazul reorganizării circulației în zona centrală a municipiului Pitești	191	105
6.11.1. Scenariul 1 (interzicerea accesului pentru traficul greu)	191	105
6.11.2. Scenariul 2 (darea în funcțiune a pasajului Prundu)	193	107
6.11.3. Scenariul 3 (îmbrăcăminte rutieră silențioasă)	194	108
6.12. Predicția zgomotului rutier imis în cazul aplicării măsurilor de protecție fonică	195	109
6.13. Concluzii	197	111
Cap. 7. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE DE CERCETARE	201	114
7.1. Concluzii	201	114
7.2. Contribuții personale	212	120
7.3. Perspective de cercetare	215	122
BIBLIOGRAFIE	217	123

ANEXE	228	-
Anexa 1: Program de calcul în limbajul de programare Java pentru fluxurile de trafic într-o intersecție în sens giratoriu cu 3 brațe și cu fluxuri de retur	229	-
Anexa 2: Program de calcul în limbajul de programare Java pentru fluxurile de trafic într-o intersecție în sens giratoriu cu 4 brațe și fără fluxuri de retur	236	-
Anexa 3.0.a: Scenariul 0 (situația actuală)	245	-
Anexa 3.1.a: Scenariul 1 (scenariul 0 plus acces interzis vehiculelor grele)	246	-
Anexa 3.2.a: Scenariul 2 (scenariul 1 plus darea în funcțiune a pasajului Prundu)	247	-
Anexa 3.3.a: Scenariul 3 (scenariul 2 plus îmbrăcămintă rutieră silențioasă)	248	-
Anexa 3.0.b: Scenariul 0 plus barieră fonică	249	-
Anexa 3.1.b: Scenariul 1 plus barieră fonică	250	-
Anexa 3.2.b: Scenariul 2 plus barieră fonică	251	-
Anexa 3.3.b: Scenariul 3 plus barieră fonică	252	-
LISTĂ FIGURI	I	-
LISTĂ TABELE	V	-

CUVINTE CHEIE

1. Poluare fonică rutieră;
2. Autovehicule;
3. Circulație rutieră;
4. Trafic rutier;
5. Parametru al traficului rutier;
6. Contorizare trafic rutier;
7. Flux rutier;
8. Modelarea traficului rutier;
9. Mărime acustică;
10. Modele de predicție a zgomotului rutier;
11. Rețea rutieră;
12. Intersecție semaforizată;
13. Intersecție în sens giratoriu;
14. Nivel de zgomot;
15. Program de calcul;
16. Microsimularea traficului;
17. Modelare matematică;
18. Model integrat;
19. Scenariu de organizare a circulației rutiere;
20. Barieră fonică;

Cap. 1. PROBLEMATICA ZGOMOTULUI GENERAT DE TRAFICUL RUTIER. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

1.1. Introducere. Efectele zgomotului asupra organismului uman

Obținerea unui înalt nivel de sănătate și protecție a mediului este parte a politicii Uniunii Europene, iar unul dintre obiectivele ce trebuie urmărite este protecția împotriva zgomotului.

În “Cartea verde” privind “*Politici de viitor privind zgomotul*”, Comisia Europeană a numit zgomotul ambiental drept una dintre problemele principale de mediu din Europa.

Prin „*zgomot ambiental*” se înțelege acel sunet exterior nedorit sau dăunător produs de activitățile omenești, inclusiv zgomotul emis de mijloacele de transport, traficul rutier, traficul feroviar, traficul aerian și de activitățile industriale.

Reglementările cu privire la limitele maxime pentru nivelul de zgomot se bazează pe studii recunoscute în ceea ce privește efectele negative ale zgomotului [Planul de acțiune, 2012], fiind recunoscut faptul că sunetul poate fi generat de o multitudine de tipuri de surse și el joacă un important rol pozitiv în viața oamenilor (comunicarea, cultura), însă produce în același timp și efecte negative (fig. 1.1), așa cum se prezintă în continuare.

Disconfortul

Zgomotul poate fi definit ca fiind sunetul pe care omul îl percepe ca fiind deranjant. Modul în care oamenii reacționează la expunerea la zgomot nu depinde numai de intensitatea acestuia, ci și de ceea ce reprezintă sunetul respectiv pentru persoana în cauză. Zgomotul are un înțeles subiectiv, el nu este doar o variație de presiune.

Deranjarea somnului

Un somn bun pe timpul nopții este o condiție necesară pentru starea de bine. Afectarea somnului este unul dintre cele mai puternice motive de reclamare a zgomotului. Principalele fenomene sunt: dificultatea de a adormi, trezirea prematură nedorită, greutatea în a adormi din nou după ce persoana s-a trezit și schimbări în stadiile somnului. Oamenii pot reclama și efecte secundare ale deranjării somnului cum sunt: diminuarea calității somnului, oboseală, depresii, scăderea productivității, slăbirea concentrării. Efectele psihologice negative sunt: mărirea presiunii arteriale; mărirea pulsului; vasoconstricție; modificări ale ritmului respirator; aritmie cardiacă.

Alte efecte adverse

Afectarea auzului – persoanele care lucrează în anumite domenii industriale au risc de pierdere a auzului dacă nu se iau măsuri preventive de protecție. Există o preocupare din ce în ce mai intensă cu privire la expunerea la zgomot în cluburi, discoteci, restaurante și alte locații de acest tip.

Interferența cu vorbirea și alte metode de comunicare

Zgomotul poate masca vocile (vorbirea), ascultarea la radio sau TV sau alte sunete, inclusiv muzica, pe care oamenii doresc să le audă.

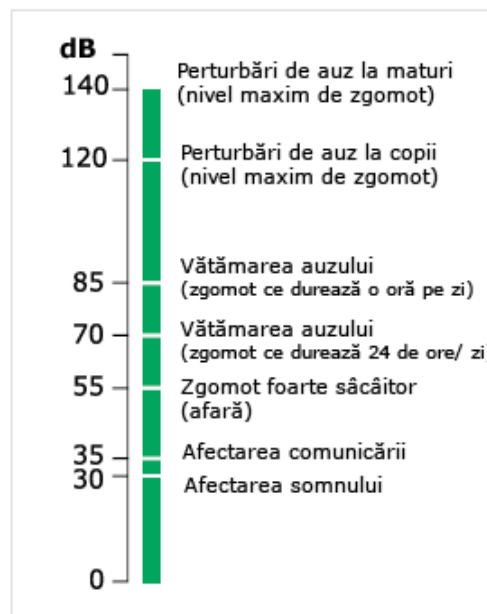


Fig. 1.1. Efectele negative ale zgomotului [Planul de acțiune, 2012].

Sănătatea mentală

Zgomotul ambiental nu este considerat o cauză primară a reducerii sănătății mentale, dar este posibil să fie un factor de accelerare sau intensificare.

Productivitatea muncii

S-a demonstrat faptul că zgomotul de fond poate mări performanța în munca de rutină, dar o poate micșora în cazul activităților care necesită concentrare și memorare.

Procesul de învățare

Poate fi afectat procesul de învățare, citire, poate fi redusă motivația și este afectată îndeplinirea sarcinilor complexe.

Comportamentul social

Studiile arată că expunerea la zgomot poate face ca oamenii să devină necomunicativi și închiși, mai puțin înțelegători și disponibili de a-și ajuta semenii sau vecinii. Este puțin probabil faptul că zgomotul generează agresiune, dar mediile zgomotoase induc o mai ridicată stare de nesiguranță.

1.2. Politica europeană cu privire la zgomotul ambiental. Planuri de acțiune

În acest context, a fost aprobată Directiva 49/2002 a Parlamentului European, care stabilește o bază comună pentru evaluarea și combaterea zgomotului ambiental în țările UE.

Scopul acestei directive este acela de a defini o abordare comună pentru a evita, preveni sau reduce, cu prioritate, efectele dăunătoare, inclusiv disconfortul, provocate de expunere la zgomotul ambiental. Pentru aceasta, s-a stabilit implementarea progresivă a următoarelor acțiuni:

- a) determinarea expunerii la zgomotul ambiental, prin întocmirea hărților de zgomot prin metode de evaluare comune Statelor Membre;
- b) publicarea informațiilor cu privire la zgomotul ambiental și efectele sale;
- c) adoptarea planurilor de acțiune de către Statele Membre, bazate pe rezultatele din hărțile de zgomot, pentru a preveni și reduce zgomotul ambiental unde este cazul și, în special, unde nivelele de expunere pot avea efecte dăunătoare asupra sănătății umane și pentru a păstra calitatea zgomotului ambiental, acolo unde este bună.

Domeniile vizate prin Directiva 49/2002 a Parlamentului European, împreună cu termenele pentru realizarea hărților strategice de zgomot și pentru stabilirea planurilor de acțiune sunt prezentate în tab. 1.1 [Minchevici, 2006].

Tab. 1.1. Termenele pentru hărțile de zgomot și planurile de acțiune [Minchevici, 2006].

<i>Domeniul analizat</i>	<i>Termen de realizare a hărții de zgomot, până la data de</i>	<i>Termen de întocmire a planurilor de acțiune, până la data de</i>
Faza 1		
Aglomerări > 250.000 locuitori Drum principal > 6.000.000 vehicule/an Cale ferată principală > 60.000 trenuri/an Aeroport mare > 50.000 mișcări/an	30 aprilie 2007	18 mai 2008
Faza 2		
Aglomerări > 100.000 locuitori Drum principal > 3.000.000 vehicule/an Cale ferată principală > 30.000 trenuri/an	30 aprilie 2012	18 mai 2013

Astfel, în România, pentru faza 1 au constituit obiect de analiză cele 9 aglomerări urbane având peste 250.000 locuitori, ce sunt evidențiate pe harta din fig. 1.2.

A detailed map of Romania, showing its geographical location and major infrastructure. The map includes the following elements:

- Neighboring Countries:** Ukraine to the north and east, Hungary to the west, Serbia to the southwest, and Bulgaria to the south.
- Major Cities:** Bucharest (capital), Cluj-Napoca, Timisoara, Iasi, Sibiu, Brasov, Pitesti, Constanta, and many others.
- Road Network:** A dense network of roads is shown, with major routes highlighted in red and labeled with numbers like E60, E70, E81, E85, E87, E88, E89, E90, E91, E92, E93, E94, E95, E96, E97, E98, E99, E100, E101, E102, E103, E104, E105, E106, E107, E108, E109, E110, E111, E112, E113, E114, E115, E116, E117, E118, E119, E120, E121, E122, E123, E124, E125, E126, E127, E128, E129, E130, E131, E132, E133, E134, E135, E136, E137, E138, E139, E140, E141, E142, E143, E144, E145, E146, E147, E148, E149, E150, E151, E152, E153, E154, E155, E156, E157, E158, E159, E160, E161, E162, E163, E164, E165, E166, E167, E168, E169, E170, E171, E172, E173, E174, E175, E176, E177, E178, E179, E180, E181, E182, E183, E184, E185, E186, E187, E188, E189, E190, E191, E192, E193, E194, E195, E196, E197, E198, E199, E200, E201, E202, E203, E204, E205, E206, E207, E208, E209, E210, E211, E212, E213, E214, E215, E216, E217, E218, E219, E220, E221, E222, E223, E224, E225, E226, E227, E228, E229, E230, E231, E232, E233, E234, E235, E236, E237, E238, E239, E240, E241, E242, E243, E244, E245, E246, E247, E248, E249, E250, E251, E252, E253, E254, E255, E256, E257, E258, E259, E260, E261, E262, E263, E264, E265, E266, E267, E268, E269, E270, E271, E272, E273, E274, E275, E276, E277, E278, E279, E280, E281, E282, E283, E284, E285, E286, E287, E288, E289, E290, E291, E292, E293, E294, E295, E296, E297, E298, E299, E300, E301, E302, E303, E304, E305, E306, E307, E308, E309, E310, E311, E312, E313, E314, E315, E316, E317, E318, E319, E320, E321, E322, E323, E324, E325, E326, E327, E328, E329, E330, E331, E332, E333, E334, E335, E336, E337, E338, E339, E340, E341, E342, E343, E344, E345, E346, E347, E348, E349, E350, E351, E352, E353, E354, E355, E356, E357, E358, E359, E360, E361, E362, E363, E364, E365, E366, E367, E368, E369, E370, E371, E372, E373, E374, E375, E376, E377, E378, E379, E380, E381, E382, E383, E384, E385, E386, E387, E388, E389, E390, E391, E392, E393, E394, E395, E396, E397, E398, E399, E400, E401, E402, E403, E404, E405, E406, E407, E408, E409, E410, E411, E412, E413, E414, E415, E416, E417, E418, E419, E420, E421, E422, E423, E424, E425, E426, E427, E428, E429, E430, E431, E432, E433, E434, E435, E436, E437, E438, E439, E440, E441, E442, E443, E444, E445, E446, E447, E448, E449, E450, E451, E452, E453, E454, E455, E456, E457, E458, E459, E460, E461, E462, E463, E464, E465, E466, E467, E468, E469, E470, E471, E472, E473, E474, E475, E476, E477, E478, E479, E480, E481, E482, E483, E484, E485, E486, E487, E488, E489, E490, E491, E492, E493, E494, E495, E496, E497, E498, E499, E500, E501, E502, E503, E504, E505, E506, E507, E508, E509, E510, E511, E512, E513, E514, E515, E516, E517, E518, E519, E520, E521, E522, E523, E524, E525, E526, E527, E528, E529, E530, E531, E532, E533, E534, E535, E536, E537, E538, E539, E540, E541, E542, E543, E544, E545, E546, E547, E548, E549, E550, E551, E552, E553, E554, E555, E556, E557, E558, E559, E560, E561, E562, E563, E564, E565, E566, E567, E568, E569, E570, E571, E572, E573, E574, E575, E576, E577, E578, E579, E580, E581, E582, E583, E584, E585, E586, E587, E588, E589, E590, E591, E592, E593, E594, E595, E596, E597, E598, E599, E600, E601, E602, E603, E604, E605, E606, E607, E608, E609, E610, E611, E612, E613, E614, E615, E616, E617, E618, E619, E620, E621, E622, E623, E624, E625, E626, E627, E628, E629, E630, E631, E632, E633, E634, E635, E636, E637, E638, E639, E640, E641, E642, E643, E644, E645, E646, E647, E648, E649, E650, E651, E652, E653, E654, E655, E656, E657, E658, E659, E660, E661, E662, E663, E664, E665, E666, E667, E668, E669, E670, E671, E672, E673, E674, E675, E676, E677, E678, E679, E680, E681, E682, E683, E684, E685, E686, E687, E688, E689, E690, E691, E692, E693, E694, E695, E696, E697, E698, E699, E700, E701, E702, E703, E704, E705, E706, E707, E708, E709, E710, E711, E712, E713, E714, E715, E716, E717, E718, E719, E720, E721, E722, E723, E724, E725, E726, E727, E728, E729, E730, E731, E732, E733, E734, E735, E736, E737, E738, E739, E740, E741, E742, E743, E744, E745, E746, E747, E748, E749, E750, E751, E752, E753, E754, E755, E756, E757, E758, E759, E760, E761, E762, E763, E764, E765, E766, E767, E768, E769, E770, E771, E772, E773, E774, E775, E776, E777, E778, E779, E780, E781, E782, E783, E784, E785, E786, E787, E788, E789, E790, E791, E792, E793, E794, E795, E796, E797, E798, E799, E800, E801, E802, E803, E804, E805, E806, E807, E808, E809, E810, E811, E812, E813, E814, E815, E816, E817, E818, E819, E820, E821, E822, E823, E824, E825, E826, E827, E828, E829, E830, E831, E832, E833, E834, E835, E836, E837, E838, E839, E840, E841, E842, E843, E844, E845, E846, E847, E848, E849, E850, E851, E852, E853, E854, E855, E856, E857, E858, E859, E860, E861, E862, E863, E864, E865, E866, E867, E868, E869, E870, E871, E872, E873, E

În România, fac obiectul prevederilor Directivei 49/2002 drumurile principale (având un trafic rutier anual de peste 3.000.000 veh-echiv/an), acestea fiind prezentate cu galben pe harta din fig. 1.3, și căile ferate principale (cu peste 30.000 trenuri/an), prezentate cu albastru pe hartă.

În acest moment, pentru municipiul Pitești (ca și pentru celelalte orașe din țară care au făcut obiectul evaluării zgomotului ambiental), au fost parcurse primele două etape:

1 – au fost întocmite hărțile strategice de zgomot pentru sursa de zgomot *traficul rutier* (fig. 1.4 și fig. 1.5), *traficul feroviar* și *industrie* - la momentul 05.04.2012 [www.primariapitesti.ro];

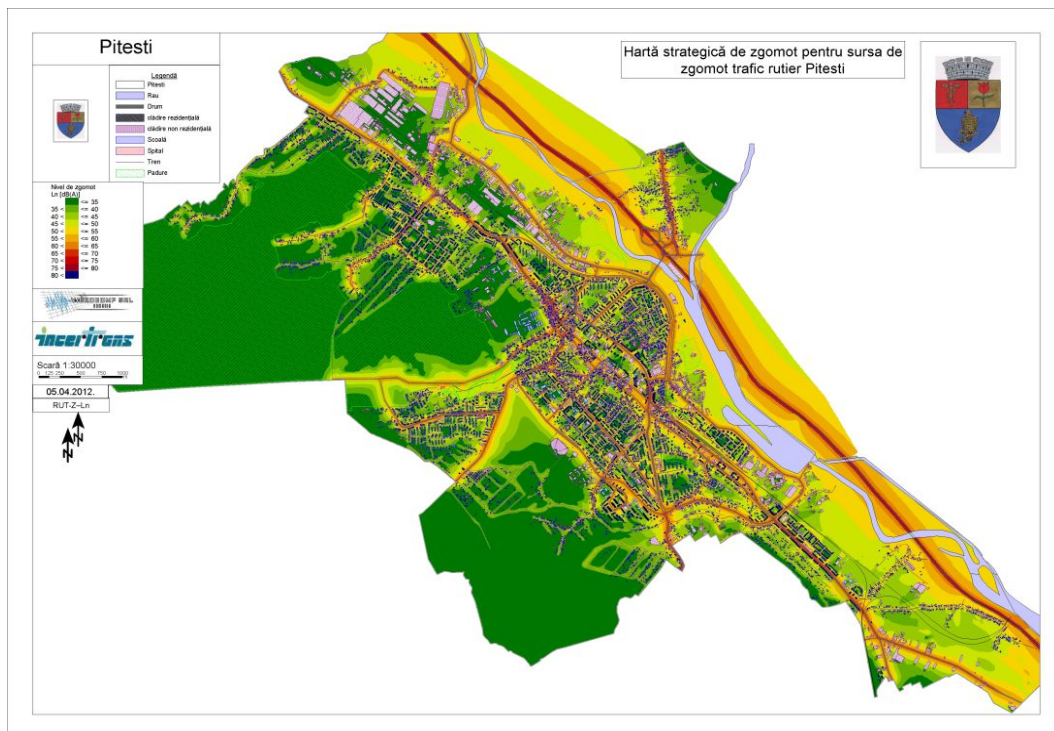


Fig. 1.4. Hartă zgomot rutier L_n , 05.04.2012, municipiul Pitești [www.primariapitesti.ro].

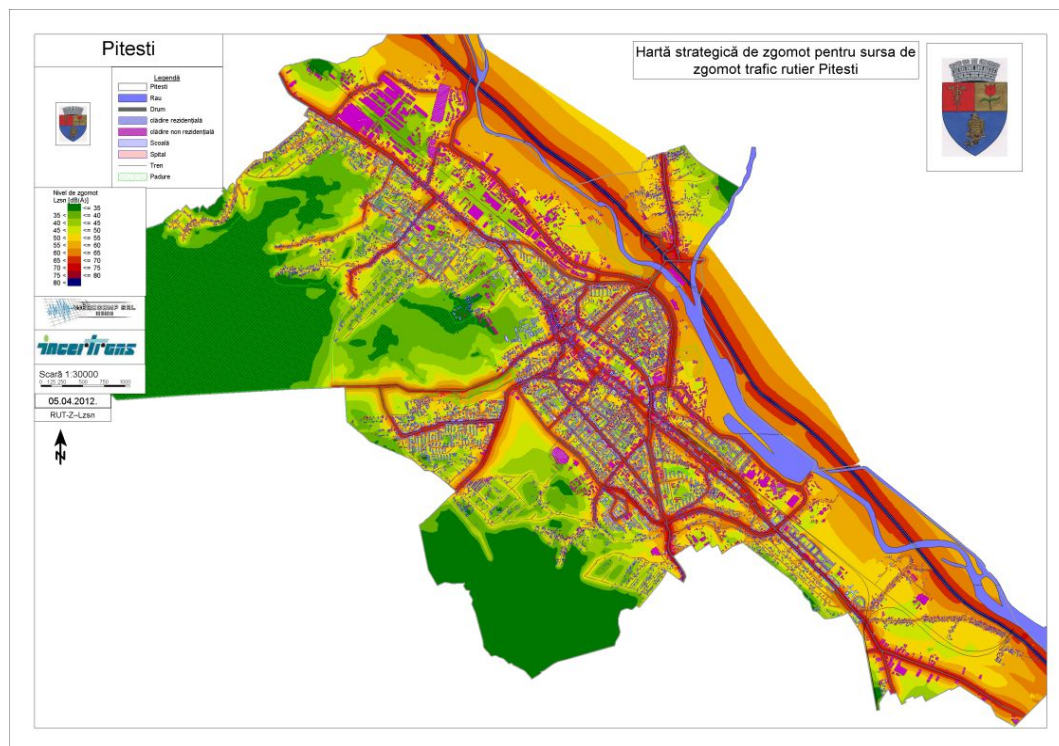


Fig. 1.5. Hartă zgomot rutier L_{zsn} , 05.04.2012, municipiul Pitești [www.primariapitesti.ro].

2 – a fost publicat pe site-ul primăriei municipiului Pitești *Raportul referitor la datele obținute în urma realizării fiecărei hărți strategice de zgomot*, ce prezintă informațiile asupra zgomotului ambiental în municipiul Pitești [www.primariapitesti.ro], inclusiv hărțile de zgomot.

Astfel, în raport se precizează că 129.500 de locuitori din municipiul Pitești sunt expuși la zgomotul produs de traficul rutier în timpul nopții ($L_n > 45$ dB) și 127.500 de locuitori sunt expuși la zgomotul produs de traficul rutier în timpul zilei ($L_{zsn} > 55$ dB), ceea ce înseamnă că, atât în timpul nopții cât și în timpul zilei, aproape $\frac{3}{4}$ din populația municipiului Pitești este poluată fonic de traficul rutier,

Pentru zgomotul produs de traficul rutier se aplică metoda națională franceză de calcul "NMPB Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)", menționată în Hotărârea din 5 Mai 1995 referitoare la zgomotul produs de trafic pe infrastructurile rutiere, Jurnalul Oficial din 10 mai 1995, articolul 6 și în standardul francez "XPS 31-133". Pentru datele de intrare referitoare la emisii, aceste documente se referă la "*Ghidul zgomotului produs de transporturile terestre, fascicula previziune a nivelurilor sonore, CETUR 1980*".

Ca urmare a analizei prezentate, rezultă următoarea concluzie: *peste 75% din populația municipiului Pitești este afectată de zgomotul ambiental, iar acesta este determinat aproape în totalitate de traficul rutier de pe rețeaua stradală din oraș.*

În *Planul de acțiune pentru reducerea nivelurilor de zgomot în municipiul Pitești. Raport final*, elaborat de S.C.INCERTRANS S.A. în anul 2012, în baza contractului încheiat cu Primăria municipiului Pitești, se găsesc informații utile pentru identificarea arterelor rutiere ce vor fi considerate prioritare pentru dezvoltarea cercetărilor în scopul reducerii zgomotului rutier.

Astfel, în anul 2008 s-a adoptat Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile, al Ministrului Transporturilor, al Ministrului Sănătății Publice și al Ministrului Internelor și Reformei Administrative pentru *aprobarea valorilor-limită și a modului de aplicare a acestora atunci când se elaborează planurile de acțiune, pentru indicatorii L_{zsn} și L_{noapte} , în cazul zgomotului produs de traficul rutier pe drumurile principale și în aglomerări, traficul feroviar pe căile ferate principale și în aglomerări, traficul aerian pe aeroporturile mari și/sau urbane și pentru zgomotul produs în zonele din aglomerări unde se desfășoară activități industriale prevăzute în anexa nr. 1 la Ordonanța de urgență a Guvernului nr.152/2005 privind prevenirea și controlul integrat al poluării, aprobată cu modificări și completări prin Legea nr. 84/2006.*

În urma realizării hărților de zgomot s-a constatat atingerea pragului de 70 dB pentru indicatorul acustic L_{zsn} , în axul străzii de-a lungul întregii rețele semnificative de străzi din municipiul Pitești. În Raport este prezentată situația cu străzile unde se constată depășiri cu mai mult de 5 dB, acestea fiind în număr de 35 - o parte însemnată a rețelei stradale, deci o pondere substanțială la zgomotul ce afectează populația o are zgomotul rutier.

La fel, se constată atingerea pragului de 60 dB pentru L_{noapte} , în axul străzii de-a lungul întregii rețele semnificative de străzi din municipiu și depășiri cu mai mult de 5 dB se înregistrează pe aceleași străzi ca și în cazul indicatorului acustic L_{zsn} .

Concluzia ce rezultă este că *întreaga rețea rutieră principală din municipiul Pitești depășește limitele admise pentru poluarea fonică și că se impun măsuri pentru reducerea zgomotului ambiental datorat traficului rutier.*

Problemele sunt asemănătoare, inclusiv ca dimensiune, în toate marile orașe din țară, astfel că este evident că problema zgomotului rutier este de interes major.

Se poate concluziona că rezultatele obținute prin cartarea zgomotului sunt foarte utile pentru a identifica nodurile și arterele rutiere cu nivel ridicat de zgomot, pentru ca acestea să devină obiective pentru cercetări în scopul reducerii nivelului de zgomot în limitele admise.

Dar aici trebuie semnalat că planurile de măsuri propuse în urma realizării hărților de zgomot rutier nu sunt satisfăcătoare, deoarece ele nu depășesc nivelul unor recomandări generale, bazate pe experiențe vagi în ceea ce privește efectul măsurilor recomandate.

Această etapă necesită însă studii și cercetări științifice care nu sunt la îndemâna specialiștilor care realizează hărțile de zgomot (fie prin măsurători fonice, fie prin calcule cu programe dedicate), ci este necesară intervenția specialiștilor în domeniul traficului rutier și al vehiculelor rutiere.

Printre altele, un plan de acțiune trebuie să cuprindă următoarele elemente [Directiva UE 49/2002]:

- orice măsuri de reducere a zgomotului, aflate deja în vigoare, și orice proiecte în pregătire;
- acțiuni pe care autoritățile competente intenționează să le ia în următorii cinci ani, inclusiv orice măsuri pentru păstrarea zonelor liniștite;
- strategie pe termen lung;
- prevederi privind evaluarea implementării și rezultatele planului de acțiune.

Pentru a releva faptul că, așa cum s-a afirmat mai sus, măsurile propuse în urma realizării hărților de zgomot rutier nu depășesc nivelul unor recomandări generale, bazate pe experiențe anterioare, se prezintă în continuare o serie de elemente precizate în *Planul de acțiune pentru reducerea nivelurilor de zgomot în municipiul Pitești*.

Pentru drumurile existente, atenuarea zgomotului se poate realiza pe trei căi:

- reducerea zgomotului la sursă (reducerea zgomotului produs de vehicule; separarea sursele de zgomot de zonele rezidențiale; dezvoltarea transportului în comun; promovarea transportului cu bicicleta; limitarea accesului vehiculelor în zonele centrale; reducerea traficului greu în interiorul orașului; concentrarea traficului inevitabil sau devierea acestuia către zone mai puțin sensibile ...);
- atenuarea căii de propagare (ecranarea cu ajutorul barierelor fonice plasate în apropierea drumului);
- măsuri în jurul receptorului (izolarea fonică a clădirilor).

Se precizează în continuare că *“măsurile luate în considerare sunt teoretice, o imagine reală a eficienței măsurilor realizându-se doar în urma monitorizării acestor măsuri”*.

Ca urmare, se propun următoarele planuri de acțiune:

- *Planul de Acțiune 1* (urmărește să reducă timpii de deplasare dintre două puncte ale orașului, indiferent de oră, să reducă accelerările și frânările bruște: construirea de noi sensuri giratorii; introducerea de sensuri unice pe o serie de străzi; construirea de piste de biciclete pentru transport; realizare pasaj supratean Podul Viilor);

- *Planul de acțiune 2* (reducerea la minim în trafic, pe cât posibil, a vehiculelor grele cu masa peste 3,5 t);

- *Planul de acțiune 3* (înlocuirea suprafeței de rulare actuale cu una cu proprietăți fonoabsorbante, ce poate scădea nivelul de zgomot);

- *Planul de acțiune 4* (reabilitarea termică/fonică a clădirilor situate de-a lungul principalelor artere de circulație);

- *Planul de acțiune 5* (reorganizarea traficului și realizarea sistemului Park+Ride la periferiile orașului, integrat în sistemul transportului în public; rezolvarea problemelor legate de parcare).

Se reține faptul că măsurile propuse în urma realizării hărților de zgomot nu sunt formulate pe baza unor cercetări științifice, care să justifice decizia organelor locale de a alocă un buget atât de mare pentru punerea lor în operă. Aceasta este marea problemă: sunt identificate (în mod credibil) mari probleme legate de poluarea fonică în oraș, dar oportunitatea măsurilor propuse nu este susținută decât prin argumente de natură teoretică.

1.3. Obiectivele tezei de doctorat

Pe baza acestei probleme majore identificate a fost stabilit **obiectivului general** al tezei de doctorat, care este exprimat și în titlul tezei: *studiul posibilităților de reducere a poluării fonice produse de traficul rutier printr-o mai bună organizare a circulației rutiere*.

Dat fiind că poluarea fonică se referă la zgomotul perceput de receptor (omul, ca pieton sau ca locatar), pornind de la obiectivul general al tezei enunțat mai sus, au rezultat, pe parcurs, și **obiectivele particulare**, ce s-au constituit în subiecte tratate în capitolele tezei:

1. Definirea și modelarea traficului rutier:

- explorarea relațiilor de ordine dintre cele două concepte utilizate în teoria traficului rutier - viteza medie temporală și viteza medie spațială, pentru a elucida ambiguitățile prezente în diversele abordări teoretice;

- analiza teoretică a procesului de depășire, care este cea mai periculoasă manevră în circulația rutieră, pentru a explora și faza ce nu se regăsește în modelele din literatura de specialitate, fază ce ține cont de spațiul și timpul necesare pentru revenirea vehiculului ce depășește pe sensul său de mers, după ce acesta și-a redus viteza la cea a fluxului de vehicule în care se va reintegra;

- realizarea unei analize comparative a diverselor modele de trafic, pentru a identifica condițiile în care se poate obține un trafic rutier cu debit maxim, cu o viteză de operare cât mai ridicată, în condiții de siguranță;

- studiul posibilităților ca, pentru o intersecție în sens giratoriu, să se determine volumul curenților de trafic pe baza valorilor măsurate cu observatori ficși dat fiind că toate metodologiile de calcul a capacității intersecțiilor în sens giratoriu se bazează pe modele analitice în care primul pas îl constituie precizarea mărimii fluxurilor pentru fiecare direcție urmată în intersecție, iar acest pas este inoperabil fără a recurge la estimări arbitrare;

- identificarea condițiilor pentru care se justifică reglementarea circulației rutiere în sens giratoriu în nodurile rețelelor rutiere, dat fiind că în ultimii ani fenomenul de transformare a intersecțiilor rutiere în intersecții cu sens giratoriu a devenit din ce în ce mai intens, atât în interiorul localităților cât și pe arterele rutiere exterioare;

- studiul posibilităților de a oferi o relevanță superioară criteriilor sau indicatorilor de verosimilitate a modelelor de trafic rutier, pentru a eficientiza procesele decizionale în organizarea circulației rutiere;

- identificarea posibilelor oportunități de îmbunătățire a nivelului de serviciu al rețelei rutiere printr-o organizare adecvată a circulației rutiere.

2. Descrierea analitică a zgomotului rutier:

- prezentarea detaliată a conceptelor de sunet pur, sunet complex și zgomot, pentru a evidenția într-un mod cât mai relevant condiția care face ca un sunet complex să fie perceput de un ascultător ca zgomot, ca și a mărimilor acustice utilizate în studiul poluării fonice.

- descrierea poluării fonice rutiere ca rezultat al modului în care omul percepe zgomotul rutier, în raport cu caracteristicile acestuia, pentru a justifica principiile măsurărilor de zgomot, în baza cărora au fost dezvoltate diversele metode și echipamente de măsurare a zgomotului – utilizate în cercetările realizate;

- studiul oportunităților de evaluare a zgomotului rutier, fie pe baza surselor individuale (autovehicule singulare), fie pe baza unei surse globale (fluxul de trafic) și identificarea criteriilor pentru alegerea unei anume abordări;

- studiul posibilităților de reducere a zgomotului rutier prin măsuri active (ce includ organizarea circulației rutiere) și prin măsuri pasive (ce includ amenajări urbanistice ce se constituie în bariere fonice).

3. Modelarea proceselor de propagare a zgomotului rutier către receptor:

- prezentarea evoluției modelării zgomotului rutier, în raport cu verosimilitatea lor și cu indicatorii acustici utilizați, și detalierea celor mai întâlnite modele de predicție a zgomotului, considerate standarde cu caracter național;

- realizarea unei analize comparative între diferitele modele de predicție a zgomotului rutier, pentru a evidenția verosimilitatea acestora în diferitele condiții de trafic rutier și de amenajare urbanistică;

- identificarea direcțiilor de acțiune pentru adoptarea celor mai verosimile modele de predicție a zgomotului rutier;

- conceperea unui model de predicție a zgomotului rutier imis pe baza caracteristicilor traficului rutier și ale mediului de propagare a zgomotului, model care să aibă un caracter integrator și care să surprindă efectele întregului sistem „conducător auto – drum – vehicul”, ca și ale mediului de propagare a zgomotului

4. Realizarea de studii de trafic pentru identificarea posibilităților de rezolvare a problemelor de trafic în municipiul Pitești:

- definirea rețelei rutiere din zona centrală a municipiului Pitești;

- realizarea de măsurători ale traficului în principalele intersecții în scopul identificării problemelor majore de trafic și a originii acestor probleme;

- analiza posibilităților de eliminare a eventualelor congestii rutiere, fie doar prin măsuri de reorganizare a circulației rutiere pe rețeaua stradală existentă, fie prin propuneri de reconfigurare a rețelei rutiere, la nivel central sau, într-o abordare mai extinsă, și în zonele de influență.

5. Realizarea de cercetări experimentale pentru dezvoltarea unui model de predicție a zgomotului rutier în funcție de trafic, și pentru identificarea soluțiilor de organizare a circulației rutiere prin care să se obțină reducerea zgomotului rutier:

- identificarea factorilor de trafic determinanți pentru zgomotul rutier și a unor criterii care să permită adoptarea modelului de predicție a zgomotului rutier cel mai potrivit pentru zona centrală a municipiului Pitești – bazat fie pe mărimi ce caracterizează deplasarea vehiculelor individuale, fie pe mărimi ale fluxurilor de trafic;

- formularea de propuneri pentru reorganizarea circulației, pe baza studiilor de trafic realizate și a nivelului de zgomot măsurat în zona centrală a municipiului Pitești, și prognozarea nivelului de zgomot pentru diversele scenarii propuse.

- verificarea verosimilității modelelor utilizate, prin măsurători realizate în condiții similare;

- propunerea unui plan de măsuri succesive pentru reorganizarea circulației rutiere în zona centrală a municipiului Pitești, în acord cu rezultatele obținute prin aplicarea modelelor de prognoză a zgomotului rutier, dar și cu proiectele de infrastructură ale administrației locale, prin care zgomotul rutier în zona centrală a municipiului Pitești să se reducă și chiar să se încadreze în limitele precizate de legislație.

6. Formularea concluziilor generale rezultate, prezentarea contribuțiilor proprii și identificarea perspectivelor de continuare a cercetărilor în domeniu:

- formularea și sistematizarea concluziilor generale rezultate în urma cercetărilor teoretice și experimentale;

- prezentarea contribuțiilor proprii, atât a celor de natură teoretică – destinate să fie integrate în literatura de specialitate, cât și a soluțiilor propuse pentru reorganizarea circulației rutiere în municipiul Pitești – adresate autorităților locale pentru a fi aplicate;

- identificarea perspectivelor pe care rezultatele, teoretice și experimentale, le oferă pentru continuarea cercetărilor în domeniu.

La modul general, este de așteptat ca prin studiile și cercetările ce vor fi realizate pentru îndeplinirea acestor obiective să fie aduse contribuții la teoria traficului rutier și la modelarea zgomotului ambiental generat de traficul rutier.

Cap. 2. STADIUL ACTUAL ÎN MODELAREA TRAFICULUI RUTIER. CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PROPRII

2.1. Parametrii traficului rutier

Traficul rutier este constituit din totalitatea fluxurilor rutiere ce se manifestă pe un tronson de drum, într-o intersecție sau la nivelul unei zone din rețeaua rutieră, acestea fiind constituite din vehicule (împreună cu conducătorii auto, care interacționează unii cu alții), precum și din elementele drumului și mediului înconjurător.

Este necesară definirea și măsurarea unor parametri de bază, fundamentali, pe baza cărora să se analizeze, evalueze și să se planifice perfecționarea infrastructurii existente.

Parametrii fluxurilor rutiere de trafic se clasifică în două categorii importante:

- *Parametrii microscopici*, care descriu comportamentul individual al vehiculelor sau perechilor de vehicule în cadrul fluxului rutier:

- viteza vehiculelor individuale;
- intervalele dintre vehicule (spațiul intervehicular);
- parametrii procesului de depășire (viteze, accelerații, traiectorie sau alți parametri statistici: zgomotul accelerației, dispersia relativă a accelerației etc.).

- *Parametrii macroscopici*, care descriu fluxul rutier în ansamblu, aceștia fiind:

- volumul de trafic ori rata fluxului sau debitul de circulație;
- densitatea traficului;
- viteza fluxului.

2.2. Parametrii microscopici

2.2.1. Viteza vehiculului singular

Pentru o abordare statistică a vitezei vehiculului singular este nevoie să se cunoască distribuția valorilor vitezei instantanee sau densitatea de probabilitate a acesteia, ceea ce poate fi evidențiat grafic prin histograma pentru distribuția vitezei vehiculului de-a lungul traseului parcurs.

Pe baza histogramei vitezei se pot calcula indicatorii statistici, cel mai important dintre aceștia fiind media vitezei.

Media vitezei se poate calcula în raport cu timpul (*viteza medie temporală*, $v_{m,t}$, numită și viteză de croazieră) sau în raport cu spațiul parcurs (*viteza medie spațială*, $v_{m,s}$):

$$V_{m,t} = \frac{\sum t_i \cdot v_i}{\sum t_i}, \quad (2.1)$$

respectiv:

$$V_{m,s} = \frac{\sum s_i \cdot v_i}{\sum s_i} \quad (2.2)$$

Dacă primul concept este cunoscut, cel de al doilea concept pare puțin inteligibil, de aceea, pentru a înțelege diferența dintre aceste două concepte este utilă remarca următoare: în timp ce viteza medie spațială rezultă aplicând direct relația (2.2), viteza medie temporală poate fi exprimată și prin relația ce rezultă în urma prelucrării relației (2.3):

$$V_{m,t} = \frac{\sum t_i \cdot v_i}{\sum t_i} = \frac{\sum_{v_i}^{s_i} v_i}{\sum_{v_i}^{s_i}} = \frac{\sum s_i}{\sum_{v_i}^{s_i}} \quad (2.3)$$

Trebuie remarcat că forma finală din relația analitică pentru calculul vitezei medii temporale este mult mai utilă: se constată că diferența dintre cele două concepte poate fi exprimată printr-o formulare neconvențională: *“Viteza medie temporală reprezintă viteza medie pe unitatea de timp, iar viteza medie spațială reprezintă viteza medie pe unitatea de spațiu”*.

Aceasta, deoarece în general un traseu este descris prin valorile vitezei pe tronsoanele succesive, caracterizate prin lungimea lor, nu prin timpul de parcurgere. Este cazul programelor de transport public de persoane, dar și al transportului de marfă, iar site-urile ce descriu posibilele trasee oferă o valoare pentru viteza medie temporală calculată cu relația anterioară.

Cele două medii ale vitezei vehiculului singular (care parcurge diverse tronsoane de drum cu diverse viteze) diferă prin coeficientul de variație al mediei spațiale, astfel că *întotdeauna viteza medie temporală este mai mică decât viteza medie spațială*, conform relației:

$$V_{m,t} = V_{m,s} - \frac{D_{v,s}}{V_{m,s}}, \quad (2.4)$$

unde $D_{v,s}$ este dispersia vitezei spațiale în raport cu media (vitezei spațiale):

$$D_{v,s} = \frac{\sum f_i \cdot (V_{s,i} - V_{m,s})^2}{\sum f_i}, \quad (2.5)$$

în care $f_{s,i}$ reprezintă frecvența valorii sau proporția din lungimea traseului pentru care vehiculul (singular) se deplasează cu viteza $v_{s,i}$.

Trebuie observat că relația (2.4) este valabilă doar pentru viteza vehiculului singular (care parcurge cu viteză variabilă un traseu de o anumită lungime), pe când în cazul vitezei fluxului de vehicule (format din mai multe vehicule care se deplasează simultan, cu diverse viteze medii, pe un același tronson de drum), relația dintre cele două viteze medii ale fluxului de vehicule, spațială și temporală, este sensibil diferită - așa cum se va prezenta în subcapitolul ce tratează parametrii macroscopici ai fluxurilor rutiere.

2.2.3. Parametrii procesului de depășire

Având în vedere obligațiile impuse de legislația rutieră și posibilitățile pe care le oferă întregul sistem “conducător auto – vehicul – drum”, pot exista 3 scenarii pentru procesul de depășire, la toate considerându-se că *vehiculul depășit se deplasează cu viteza constantă v_1* :

1 – vehiculul care depășește se deplasează cu viteză constantă, $v_2 > v_1$: este cazul depășirii unui vehicul singular ce se deplasează pe un drum unde vizibilitatea este suficient de mare pentru vehiculul ce vine din spate pentru ca acesta să poată efectua manevra de depășire păstrând viteza de deplasare; un caz similar, deși nu este definit ca o depășire, este cel în care un vehicul aflat pe banda 1 și care se deplasează în regimul “pilot automat” trece în fața unui vehicul singular de pe banda 1 a autostrăzii (dacă nu reintră pe banda 1, atunci nu este o manevră de depășire, ci o schimbare a benzii de circulație).

2 – vehiculul 2 se deplasează cu viteză constantă în spatele vehiculului 1, $v_2 = v_1$, și, atunci când din față nu vin alte vehicule, inițiază procesul de depășire, constituit din 2 etape: accelerare cu *acclerație constantă* până la o viteză limită v_{lim} și deplasare cu *viteza constantă v_{lim}* .

3.1. – vehiculul 2 se deplasează cu viteză constantă în spatele vehiculului 1, $v_2 = v_1$, și, atunci când din față nu vin alte vehicule, inițiază procesul de depășire, constituit din 3 etape: accelerare cu *acclerație constantă* până la o viteză limită v_{lim} , deplasare cu *viteza constantă v_{lim}* , decelerare cu *decelerație constantă* până la valoarea vitezei inițiale v_2 .

3.2 - vehiculul 2 se deplasează cu viteză constantă în spatele vehiculului 1, $v_2 = v_1$, și inițiază procesul de depășire, constituit din următoarele etape: accelerare cu accelerație liniar variabilă până la viteza limită v_{lim} , deplasare cu viteza constantă v_{lim} , decelerare cu decelerație liniar descrescătoare.

În acest caz apare o ultimă fază, când vehiculul care execută depășirea se deplasează cu o viteză egală cu a coloanei – fază necesară pentru ca vehiculul să se integreze în coloană între vehiculul depășit și cel din fața acestuia.

Această fază nu se regăsește în modelele manevrei de depășire din literatura de specialitate, dar nu este de neglijat, deoarece spațiul și timpul necesare pentru revenire pe sensul său de mers, după ce vehiculul și-a redus viteza la cea a fluxului de vehicule de pe sensul său de mers, au valori destul de importante.

În urma unei analize comparative, rezultă concluziile importante:

- primul model asigură valori minime pentru timpul și spațiul de depășire, dar se impune o asigurare temeinică a conducătorului auto înainte de a se angaja în depășire fără a reduce viteza; manevra poate fi efectuată în condiții de trafic liber, pe autostradă sau pe porțiuni ale drumurilor naționale cu aliniamente foarte lungi.

- al treilea model conduce la valori avantajoase ale parametrilor depășirii, dar traficul condiționat impune faza de frânare pentru integrarea în coloană a vehiculului.

2.3. Parametrii macroscopici

S-a constatat că între fluxurile rutiere continue și curgerea fluidelor în conducte există o similitudine aproape completă, astfel că pentru studiul fluxurilor rutiere continue se aplică, la un nivel macroscopic (mai puțin detaliat) *teoria hidrodinamică* (care se referă la curgerea lichidelor – care sunt incompresibile, ignorând perioadele de variație a vitezei fluxului rutier), iar dacă nivelul este mai detaliat (mezoscopic sau chiar microscopic) se poate considera că se aplică o teorie *gazodinamică*, numită astfel pentru că surprinde variația intervalelor dintre vehicule atunci când viteza variază, ca în cazul gazelor – care sunt fluide perfect compresibile (care ocupă întregul volum pus la dispoziție și pentru care în permanență există relația $pV/T = ct.$, unde p este presiunea gazului, V este volumul, iar T este temperatura acestuia).

Ca urmare, descrierea fluxurilor rutiere se realizează similar condițiilor în care prin conductă trece un debit mediu constant de lichid, când, considerând că variabila x este coordonata spațială în lungul conductei, relația pentru debitul local $Q(x)$ al unui lichid în secțiunea de arie $S(x)$ a conductei în funcție de viteza fluidului în secțiunea respectivă a conductei, $v(x)$:

$$Q(x) = S(x) \cdot v(x) \quad (2.10)$$

ceea ce este, de fapt, cunoscuta ecuație a curgerii laminare a unui lichid printr-o conductă cu secțiune variabilă (fig. 2.6):

$$Q = S_i \cdot v_i = ct. \quad (2.11)$$

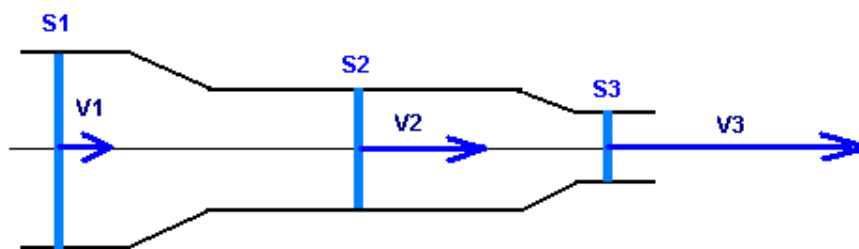


Fig. 2.6. Curgerea laminară a unui lichid printr-o conductă de secțiune variabilă.

2.3.3. Viteza traficului

Viteza reprezintă un parametru important ce descrie starea fluxurilor rutiere. Pentru determinarea vitezei medii a fluxului rutier pot fi abordate două căi diferite, corespunzătoare metodelor de observare, măsurându-se fie *viteza medie locală*, fie *viteza medie momentană*.

Viteza medie temporală $\bar{v}_t$, măsurată în funcție de timp, reprezintă viteza medie a vitezelor tuturor vehiculelor care trec printr-o secțiune a drumului într-o perioadă specificată de timp, fiind deci o măsură punctuală a vitezelor.

Viteza medie spațială $\bar{v}_s$, măsurată în funcție de spațiu sau pe un segment de drum, reprezintă viteza medie a tuturor vehiculelor care ocupă o porțiune de drum în aceeași perioadă specificată de timp, acest parametru fiind o măsură spațială a vitezelor.

Între aceste 3 mărimi fundamentale ale fluxurilor rutiere (viteză, volum, densitate) există în orice moment t și în orice punct x relația analitică următoare, ce este cunoscută drept *ecuația fundamentală a traficului*:

$$q(x, t) = k(x, t) \cdot v(x, t) \quad (2.12)$$

unde notațiile reprezintă: $q(x, t)$ - volumul sau intensitatea traficului [veh/oră]; $v(x, t)$ - viteza medie locală [km/oră]; $k(x, t)$ - densitatea traficului [veh/km].

2.4. Modelarea traficului rutier

Relațiile dintre cele 3 mărimi ce se regăsesc în ecuația fundamentală a traficului pot fi evidențiate prin graficul cunoscut drept "*diagrama fundamentală de corelare a parametrilor de trafic*" ce poate avea diverse forme, între care și forma din fig. 2.9 (unde lipsește corelarea directă "viteză – debit", dat fiind că este doar o reprezentare plană, nu spațială), care corespunde **modelului Greenshields**, dezvoltat pe baza unei relații liniare între viteza și densitatea fluxului rutier astfel [Timar, 2010; Florea, 2000]:

$$v = v_f - \frac{v_f}{k_j} \cdot k \quad (2.13)$$

unde: v_f – viteza fluxului liber [km/h]; k_j – concentrația fluxului liber [vehicule/km]; v – viteza fluxului în orice moment [km/h]; k – concentrația la un moment dat, [vehicule/km].

Prin rearanjarea acestei ecuații se obține forma:

$$v = v_f \cdot \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \quad (2.14)$$

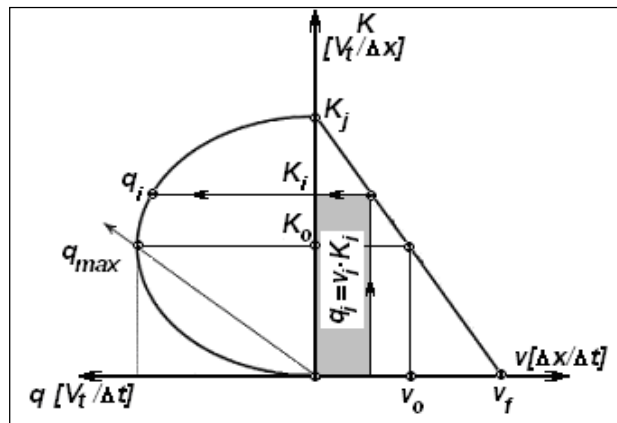


Fig. 2.9. Diagrama fundamentală de corelare a parametrilor de trafic [Florea, 2000].

Pentru modelul din fig. 2.9 se poate observa că, în diagrama fundamentală, viteza optimă corespunde punctului de maxim al curbei, q_{max} .

În ingineria traficului rutier prezintă un interes deosebit condițiile care asigură o utilizare maximă a capacității de circulație a arterelor rutiere.

În acest sens, pentru a realiza analiza comparativă a capacității de circulație s-a definit un concept adecvat, *nivelul de serviciu*, exprimat în funcție de 2 parametri ai traficului:

- raportul "volumul traficului /capacitate de circulație a drumului";
- viteza traficului.

Astfel, nivelul de serviciu se bazează pe concepte și termeni ușor de înțeles, dar dificil de exprimat valoric. Realizarea unui grad de comparație între categoriile de trafic și metodele standard de măsurare au impus un termen specific ingineriei de trafic ca indice primar de evaluare a nivelului serviciului pentru fiecare categorie de trafic - densitatea traficului.

Densitatea (exprimată în vehicule etalon/km/bandă de circulație), reflectă probabilitatea ca utilizatorii drumului să interfereze, ca libertate de conducere, cu ceilalți participanți la trafic.

Pentru drumurile cu mai multe benzi pe sensul de circulație (aici sunt incluse autostrăzile și drumurile expres) există 6 niveluri de serviciu [J.P. Rodrigue, 2013] – tab. 2.1.

Nivelul de serviciu al traficului este determinat de intensitatea orară maximă care poate exista într-un punct sau pe o secțiune a drumului, în funcție de condițiile de trafic.

Tab. 2.1. Nivelurile de serviciu al intersecțiilor rutiere și caracteristicile circulației rutiere.

Nivel de serviciu	Caracterizare
A. Flux de trafic liber	Utilizatorii individuali sunt practic neafecțați de prezența altor vehicule pe tronsonul de drum. Alegerea vitezei și manevrabilitatea sunt libere. Nivelul de confort este excelent, deoarece conducătorul auto are nevoie de o atenție minimă.
B. Trafic stabil	Prezența altor vehicule pe tronsonul de drum începe să afecteze comportamentul unora dintre conducătorii auto. Alegerea vitezei este liberă, dar manevrabilitatea a scăzut oarecum. Confortul este excelent, deoarece șoferul pur și simplu are nevoie doar să urmărească vehiculele din apropiere.
C. Trafic stabil, dar limitat	Prezența altor vehicule afectează conducătorii auto. Alegerea vitezei este afectată și manevrarea necesită vigilență. Confortul scade repede la acest nivel, deoarece conducătorul auto are o impresie tot mai accentuată că este prins între alte vehicule.
D. Trafic stabil, de mare densitate	Viteza și manevrabilitatea sunt reduse sever. Nivel scăzut de confort pentru șofer, deoarece el trebuie să evite în mod constant coliziuni cu alte vehicule. O ușoară creștere a traficului poate să determine unele probleme operaționale și saturarea rețelei.
E. Trafic la saturație	Viteză scăzută, dar uniformă. Manevrabilitatea este posibilă numai prin constrângerea unui alt vehicul. Utilizatorul este frustrat.
F. Congestie	Viteză instabilă, cu formare de rânduri de așteptare în mai multe puncte. Ciclurile de oprire și de plecare nu au nicio logică aparentă, deoarece sunt create de comportamentul conducătorilor auto. Este nevoie de un nivel ridicat de vigilență pentru utilizator, care practic nu are niciun confort.

În literatura de specialitate sunt consacrate reprezentările grafice ale nivelurilor de serviciu din figurile următoare [Highway Capacity Manual, 2010]. Astfel, în fig. 2.10 este reprezentat debitul în funcție de densitate, iar viteza este parametru, evidențiindu-se nivelurile de serviciu pentru anumite intervale ale densității (se constată că valorile de 48 km/h și 96 km/h corespund valorilor de 30 mph, respectiv 60 mph – unități de măsură din sistemul anglo-saxon, sursa bibliografică fiind americană).

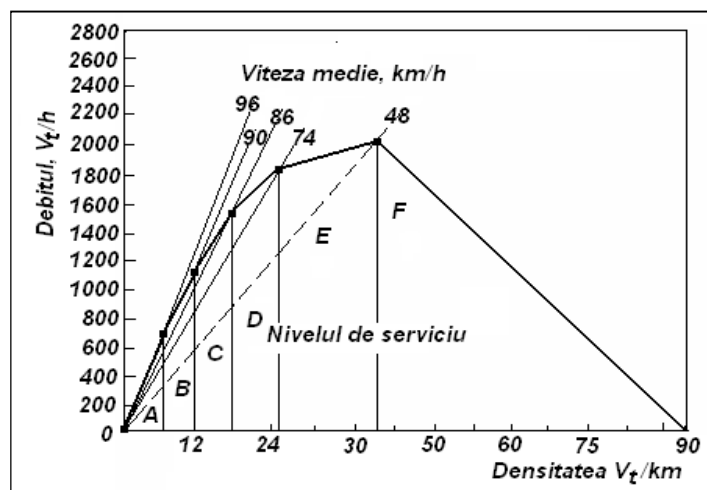


Fig. 2.10. Nivelurile de serviciu în raport cu debitul, densitatea traficului și viteza de operare [Timar, 2010].

Se observă că, pe măsură ce densitatea traficului crește, rata fluxului rutier crește până la o valoare maximă (pentru care viteza de operare scade la valoarea de 48 km/oră), după care fluxul rutier scade continuu pe măsura creșterii densității (ca și viteza de operare) până la valoarea zero.

În fig. 2.11 este reprezentată grafic viteza de operare în funcție de parametrul „volum trafic/capacitate de circulație” și sunt evidențiate nivelurile de serviciu. Reprezentarea grafică permite identificarea nivelului serviciului, dacă se cunosc viteza de operare și raportul dintre volum și capacitate. Cu cât volumul de trafic se apropie de limita capacității ($V/C = 1$) nivelul serviciului scade. Traficul liber corespunde unei viteze mari de operare și unui raport V/C mic [Timar, 2010].

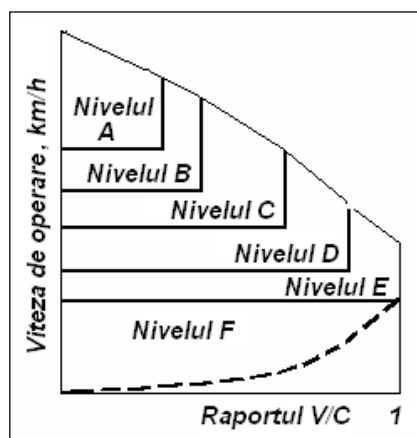


Fig. 2.11. Nivelurile de serviciu în raport cu viteza de operare și parametrul „volum trafic /capacitate de circulație” [Timar, 2010].

Într-o exprimare mai relevantă se poate considera că nivelul de serviciu al unui drum la un moment dat, poate fi caracterizat prin caracteristicile traficului:

- *trafic liber*: conducătorul auto se poate deplasa cu viteza cu care dorește;
- *trafic în mare măsură liber (parțial condiționat)*: conducătorul auto se poate deplasa în mare parte a timpului cu viteza cu care dorește;
- *trafic în mică măsură liber (în mare măsură condiționat)*: conducătorul auto se poate deplasa în mică măsură cu viteza cu care dorește și în mare măsură este obligat să adapteze viteza în funcție de condițiile de trafic;
- *trafic total condiționat*: conducătorii auto nu se pot deplasa decât cu viteza cu care se deplasează întregul flux, nu se fac depășiri;
- *trafic congestionat*: conducătorii auto nu se pot deplasa decât cu viteza foarte mică cu care se deplasează întregul flux, nu se fac depășiri și chiar se ajunge ca deplasarea să se realizeze cu opriri frecvente sau chiar traficul se blochează.

Îmbunătățirea nivelului de serviciu se poate realiza pe două căi:

1 – creșterea capacității de circulație a drumului (de exemplu, prin adăugarea unei benzi suplimentare pe sensul de circulație, cel puțin în rampă) - este o măsură durabilă, deși costisitoare;

2 – menținerea în permanență a volumului de trafic sub o anumită valoare, ceea ce ar presupune redirecționarea fluxurilor de trafic pe rute alternative în anumite perioade de timp sau organizarea avantajoasă a circulației (de exemplu, utilizarea sensurilor unice pe arterele cu două benzi de circulație) – necesită măsuri complexe și continue de gestionare a traficului.

În literatura de specialitate sunt analizate diverse modele pentru diagrama fundamentală a traficului.

Astfel, modelul cel mai simplu (numit “ideal”, de fapt “pur teoretic”) este cel în care se consideră că intervalul dintre vehicule se menține același indiferent de viteză (acesta este egal cu spațiul de siguranță pe care vehiculele îl mențin în șirul de așteptare, când viteza este egală cu zero), dar acesta este un caz absolut teoretic.

Acest caz ar permite creșterea constantă a debitului de trafic odată cu viteza, dar nu este decât un model teoretic, utilizat ca punct de plecare în explorarea diverselor modele de trafic.

Modelul în care se consideră o astfel de relație liniară între densitatea traficului și viteză (rel. 2.13) este cel prezentat mai înainte - modelul Greenshields - pentru a evidenția conceptele utilizate (v. fig. 2.9), dar și acesta este un model teoretic, ce nu caracterizează cu suficientă verosimilitate relația dintre cele două mărimi.

Același lucru se poate spune despre **modelul Greenberg**, dezvoltat în anul 1959, care utilizează o variație logaritmică pentru corelația densitate – viteză (fig. 2.13), pornind de la relația analitică următoare pentru viteza traficului,

$$\bar{v}_x = c \cdot \ln \frac{k_j}{k} \quad (2.18)$$

unde c este parametrul modelului, având ca mărime echivalentă viteza (de obicei, jumătate din viteza de proiectare a drumului) și de unde rezultă relația pentru densitatea traficului:

$$q = c \cdot k \cdot \ln \frac{k_j}{k} \quad (2.19)$$

Modelul Greenberg necesită cunoașterea vitezei optime și parametrii condițiilor de saturație. În realitate este greu de determinat densitatea de saturație, iar identificarea vitezei optime poate fi chiar mai dificilă decât identificarea vitezei fluxului liber.

Alături de cele două modele prezentate anterior, există numeroase alte modele (**Underwood**, **Northwestern** ...), dar se constată că fiecare dintre modele prezintă anumite deficiențe pe anumite segmente ale densității. Cel mai mare dezavantaj ar fi incapacitatea de a urmări cu fidelitate măsurătorile din teren situate la limita capacității de circulație, apărând discontinuități în diagrama fundamentală (corelația intensitate – densitate – viteză).

Aceste diferențe sunt evidențiate în tab. 2.2 ce conține rezultatele comparative ale debitelor maxime, $q_{\max}$ [veh/h] și valorile vitezelor la care se obțin aceste debite maxime, v_f [km/h], pentru diversele modele [Timar, 2010].

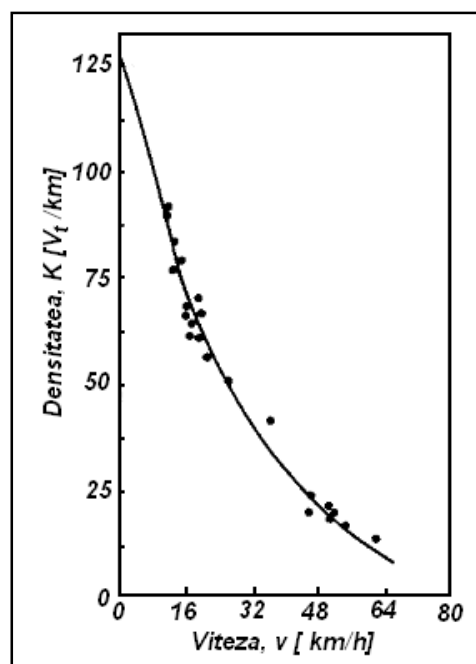


Fig. 2.13. Modelul logaritmice Greenberg [Timar, 2010].

Tab. 2.2. Compararea principalilor parametri ai fluxurilor rutiere pentru diferite modele.

PARAMETRU	SET DATE	TIP MODEL			
		Greenshields	Greenberg	Underwood	Northwestern
$q_{\max}$, Veh/oră	1800-2000	1800	1565	1590	1810
v_f , Km/h	80-88	91	∞	120	79
v_o , Km/h	45-61	47	37	45	48
K_j , Veh/km	185-250	125	185	∞	∞
K_o , Veh/km	48-65	62	68	57	61
Deviația medie	-	4,7	5,4	5,0	4,6

Fiecare dintre modele prezintă anumite deficiențe pe anumite segmente ale densității. Cel mai mare dezavantaj ar fi incapacitatea de a urmări cu fidelitate măsurătorile din teren situate la limita capacității de circulație, determinând o discontinuitate în diagrama fundamentală (corelația intensitate – densitate – viteză). Aceste concluzii au condus la formularea unor modele capabile să acopere diferite regimuri de circulație - modele multi-regim (Edie, liniar-doua regimuri, Greenberg modificat, liniar-trei regimuri ...).

Modelele multi-regim oferă îmbunătățiri considerabile comparativ cu prima generație de modele. Perfecționările ulterioare s-au bazat pe modelele de urmărire ale vehiculelor, care fac parte din modelarea la nivel microscopic a fluxurilor rutiere.

De mare interes practic este însă modelarea relației dintre densitate și viteză pentru a identifica condițiile în care se poate obține un debit maxim (acesta este interesul proiectantului infrastructurii rutiere) dar și cu o viteză de operare cât mai ridicată (acesta este interesul utilizatorului infrastructurii, care dorește să ajungă cât mai repede la destinație), în condiții de siguranță (acest deziderat este valabil pentru toate părțile implicate).

Ca urmare, vor fi studiate în continuare cazurile cele mai interesante pentru obținerea unui volum maxim de trafic, la viteză de operare ridicată (care să asigure utilizarea economică a vehiculului), în condiții de siguranță.

Astfel, cazul cel mai interesant, nu doar teoretic, este cel care asigură cel mai mare volum maxim de trafic, acesta fiind cel care permite menținerea unei distanțe minime d_{min} între vehicule (cazul unui **trafic omogen**, cand vehiculele sunt de aceeași categorie).

Relația analitică pentru intervalul dintre două vehicule l_v consecutive în timpul deplasării cu viteza v este:

$$l_v = l_v + d_{min} = l_v + v \cdot t_r + s_0, \quad (2.24)$$

unde l_v este lungimea vehiculului.

Ca urmare, densitatea traficului k [veh/km] va fi:

$$k = \frac{1000}{l_v + \frac{1}{3.6} v \cdot t_r + s_0}, \quad (2.25)$$

unde apar mărimile explicitate anterior: l_v [m], v [km/h], t_r [s] și s_0 [m].

Astfel, în acord cu unitățile de măsură folosite, rezultă volumul maxim al traficului omogen q [veh/h]:

$$q = \frac{3600}{\frac{l_v + s_0}{v} + t_r} \quad (2.26)$$

Analizând ultima relație se constată că derivata de ordinul 1 a funcției $q(v)$ este mereu pozitivă și continuu descrescătoare :

$$\frac{dq}{dv} = \frac{l_v + s_0}{v^2}, \quad (2.27)$$

deci nu se anulează pentru nicio valoare a vitezei v , ceea ce înseamnă că în acest caz volumul maxim de trafic q crește continuu odată cu creșterea vitezei de operare (de la valoarea zero, pentru $v \rightarrow 0$), dar din ce în ce mai puțin, tinzând asimptotic (pentru $v \rightarrow \infty$) la valoarea $3600/t_r$ [s] – fig. 2.14.

Cum actualmente vehiculele de același tip sunt comparabile ca performanțe de frânare, se constată că singurul factor care face diferența în ceea ce privește distanța necesară între vehicule este comportamentul conducătorilor auto, ca timp de reacție. Ideală este situația în care autostrăzile au 3 benzi, deoarece pe prima bandă vor circula autocamioanele (care au limită maximă de viteză), iar pe banda a doua și a treia vor circula autoturisme (pe banda a doua cu o viteză medie, iar pe banda a treia cu o viteză mai mare).

În acest fel se realizează “stratificarea” autoturismelor pe banda a doua și a treia în funcție de viteza adoptată și, deci, de timpul de reacție ce caracterizează conducătorii auto.

Un al doilea caz este cel al unui **trafic neomogen** (cu diverse categorii de vehicule – autoturisme, autocamioane, autobuze...), când valorile decelerațiilor realizate de vehicule sunt diferite, deci există și situații când vehiculul urmărit frânează cu o decelerație mai mare decât cel urmărit [Boroiu A-A, 2015-1].

Modelul pentru acest al doilea caz se bazează pe relația ce descrie intervalul minim dintre vehicule având în vedere și diferența dintre modurile de frânare ale vehiculelor din fluxul rutier (decelerații diferite) – rel. (2.7), explicată în subcapitolul anterior.

Astfel, valoarea pentru distanța minimă d_{min} în funcție de parametrii ce definesc mișcările celor două vehicule (viteza v , timpul de reacție al conducătorului auto t_r , decelerațiile celor două vehicule, a_{f1} și a_{f2} , și spațiul de siguranță s_0) este relația (2.9), prezentată anterior.

Ca urmare, relația analitică pentru intervalul dintre două vehicule consecutive în timpul deplasării cu viteza v este în acest caz:

$$l_v = l_v + d_{min} = l_v + v \cdot t_r + \frac{v^2}{2} \left| \frac{1}{a_{f2}} - \frac{1}{a_{f1}} \right| + s_0, \quad (2.28)$$

iar densitatea de trafic k [veh/km] va fi:

$$k = \frac{1000}{l_v + v \cdot t_r + \frac{v^2}{2} \left[\frac{1}{a_{f2}} - \frac{1}{a_{f1}} \right] + s_0} \quad (2.29)$$

unde toate mărimile din membrul drept sunt exprimate în unitățile din sistemul internațional de măsuri și unități, SI.

Ca urmare, pentru volumul maxim al traficului neomogen q [veh/h] se obține expresia analitică:

$$q = \frac{1000}{\frac{l_v + s_0}{v} + \frac{1}{3.6} t_r + \frac{v}{2 \cdot 3.6^2} \left[\frac{a_{f1} - a_{f2}}{a_{f1} \cdot a_{f2}} \right]} \quad (2.30)$$

Se constată că în acest caz derivata de ordinul I al expresiei $q(v)$ se anulează pentru o anumită valoare a vitezei, la care volumul traficului prezintă un maxim [Raicu, 2007; Boroiu A.A, 2015], valoare ce corespunde unui volum maxim de trafic și este notată v_M :

$$\frac{dq}{dv} = 0 \Rightarrow -\frac{(l_v + s_0)}{v^2} + \frac{1}{2 \cdot 3.6^2} \cdot \frac{a_{f1} - a_{f2}}{a_{f1} \cdot a_{f2}} = 0,$$

de unde rezultă v_M [km/h]:

$$v_M = 3.6 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (l_v + s_0) \cdot a_{f1} \cdot a_{f2}}{|a_{f1} - a_{f2}|}} = 3.6 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (l_v + s_0)}{\frac{|a_{f1} - a_{f2}|}{a_{f1} \cdot a_{f2}}}} = 3.6 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (l_v + s_0)}{C}} \quad (2.31)$$

unde, pentru simplificare, s-a introdus notația:

$$C = \frac{|a_{f1} - a_{f2}|}{a_{f1} \cdot a_{f2}} \quad (2.32)$$

C fiind un parametru ce exprimă variabilitatea decelerațiilor la frânare pentru vehiculele din fluxul continuu [Boroiu A.A, 2015], fiind o mărime inversă decelerației: C [1/(m/s²)].

Bineînțeles că există parametri consacrați pentru distribuția accelerațiilor vehiculelor (indicatori statistici ai accelerațiilor) așa cum sunt zgometul accelerației și dispersia relativă a accelerației sau calitatea traficului [Filip, 2001], dar parametrul identificat în relațiile de mai sus devine interesant pentru că el permite cuantificarea variabilității accelerațiilor vehiculelor din fluxul rutier, variabilitate ce caracterizează neomogenitatea fluxului rutier (diversele tipuri de vehicule au diverse performanțe de accelerare, iar acest lucru este esențial pentru caracterul dinamic al fluxului rutier).

Considerând în continuare viteza v în [km/h] și nou adoptatul parametru C (ce poate fi numit “coeficient de variație a decelerațiilor”), cea mai mare valoare pentru volumul maxim de trafic va fi:

$$q_M \left[\frac{veh}{h} \right] = \frac{3600}{t_r + \sqrt{2 \cdot (l_v + s_0) \cdot \frac{|a_{f1} - a_{f2}|}{a_{f1} \cdot a_{f2}}}} = \frac{3600}{t_r + \sqrt{2 \cdot (l_v + s_0) \cdot C}} \quad (2.35)$$

Graficele volumului maxim de trafic q [veh/h] pentru cele două cazuri sunt prezentate în fig. 2.14. Se observă că, de fapt, cazul traficului omogen este un caz particular al modelului realizat pentru traficul neomogen: cazul $a_{f1} = a_{f2}$, adică atunci când nu există variabilitate a decelerațiilor, deci coeficientul de variație al decelerațiilor este nul: $C = 0$.

Este interesant de determinat pentru acest model și densitatea de trafic k_M [veh/km] ce corespunde volumului maxim de trafic:

$$k_M = \frac{q_M}{v_{k_M}} = \frac{1000}{2 \cdot (l_v + s_0) + t_r \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (l_v + s_0)}{C}}} \quad (2.36)$$

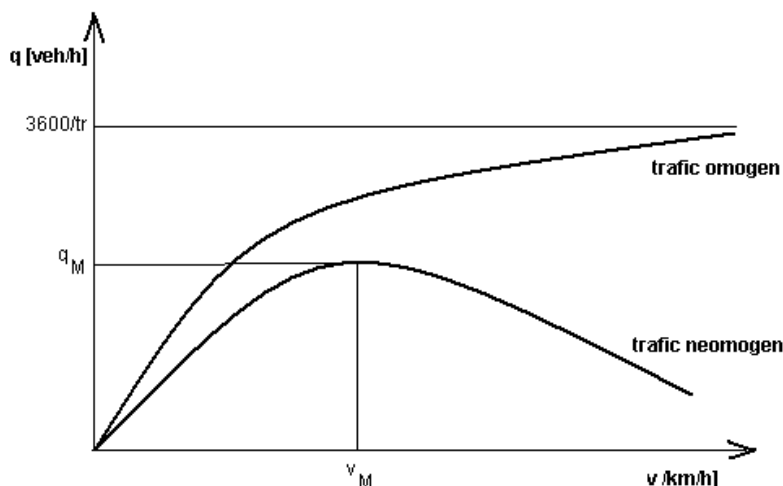


Fig. 2.14. Relația debit maxim – viteză pentru trafic omogen și pentru trafic neomogen.

Se constată că pentru $C = 0$ (cazul traficului omogen), densitatea traficului maxim tinde spre zero, ceea ce pare surprinzător, dar se explică prin faptul că pentru valoarea finită a traficului maxim (egală cu $3600/t_r$) viteza tinde spre infinit, iar aceasta se justifică matematic doar prin cazul de nedeterminare pentru produsul $q_M \times k_M$.

În ceea ce privește coeficientul de variație a decelerațiilor C , se poate considera că acesta poate avea valorile extreme următoare:

- Pentru $a_{f1} = a_{f2}$, valoarea minimă: $C_{\min} = 0$;
- Pentru $a_{f1} \neq a_{f2}$, se poate lua în calcul un domeniu de valori de la 3 m/s^2 la 9 m/s^2 , rezultând valoarea maximă pentru C :

$$C_{\max} = \frac{|a_{f1} - a_{f2}|}{a_{f1} \cdot a_{f2}} = \frac{|3 - 9|}{3 \cdot 9} = \frac{6}{27} \approx 0.2$$

Astfel, utilizând modelul pentru fluxurile maxime de trafic obținut (rel. 2.36) și urmărind evidențierea mărimii C ca parametru, s-a reprezentat variația volumului maxim de trafic pentru următoarele valori ale coeficientului de variație a decelerațiilor: $C = 0$; $C = 0,05$; $C = 0,10$; $C = 0,20$ și pentru valori fixe ale celorlalți parametri: $l_v = 4,5 \text{ m}$; $s_0 = 1,5 \text{ m}$; $t_r = 1 \text{ s}$ [Boroiu A-A, 2015-1].

S-au determinat valorile cele mai mari ale debitelor maxime de trafic, q_M , și vitezele v_M la care se obțin aceste maxime ale debitelor de trafic.

Astfel, volumul maxim de trafic q [veh/h] a fost evidențiat ca o funcție de viteză (exprimată în km/h), în care coeficientul de variație a decelerațiilor C este un parametru, prin relația:

$$q = \frac{1000}{\frac{l_v + s_0}{v} + \frac{1}{3.6} t_r + \frac{v}{2 \cdot 3.6^2} \frac{|a_{f1} - a_{f2}|}{a_{f1} \cdot a_{f2}}} = \frac{1000}{\frac{4.5 + 1.5}{v} + \frac{1}{3.6} + \frac{v}{2 \cdot 3.6^2} C} = \frac{1000}{\frac{6}{v} + \frac{1}{3.6} + \frac{C}{25.92} v}$$

Pentru a reprezenta variația volumului maxim de trafic în funcție de viteză, pentru cele 5 valori ale parametrului C , s-a realizat calculul analitic conform relației de mai sus cu ajutorul programului Excel pentru valori ale vitezei de la 0 la 150 km/h, cu un pas de 10 km/h, rezultând valorile din tab. 2.4.

În tabel au fost identificate și marcate cu bold valorile maxime ale debitelor pentru fiecare caz (corespunzătoare unora dintre valorile adoptate cu un pas de 10 km/h), dar valorile exacte pentru cele mai mari debite, ca și pentru vitezele corespunzătoare, au fost calculate analitic conform relațiilor analitice (2.33) și (2.35):

Tab. 2.4. Volumul traficului în funcție de viteză, pentru diverse valori ale parametrului C.

C [s ² /m]	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
v[km/h]	q [veh/h]				
10	1139	1115	1091	1069	1047
20	1731	1622	1527	1442	1366
30	2093	1867	1685	1535	1410
40	2338	1980	1718	1517	1358
50	2514	2023	1693	1455	1276
60	2647	2026	1641	1379	1189
70	2751	2006	1578	1301	1107
80	2835	1972	1512	1226	1031
90	2903	1930	1446	1156	963
100	2961	1884	1382	1091	901
110	3009	1836	1322	1032	847
120	3051	1788	1265	978	798
130	3087	1740	1211	929	754
140	3119	1693	1162	884	714
150	3147	1647	1115	843	678

Calculul exact - realizat analitic conform acestor relații cu ajutorul programului Excel, pentru cele 5 valori ale parametrului C - a condus la valorile din tab. 2.5.

Tab. 2.5. Volumul maxim de trafic și viteza corespunzătoare, pentru diverse valori ale parametrului C.

C [s ² /m]	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
v _M [km/h]	∞	55.8	39.4	32.2	27.9
q _M [veh/h]	3600	2029	1718	1537	1412

Din reprezentarea grafică (fig. 2.15) se constată că în condițiile unui trafic neomogen (când C are valori nenule, de ex. = 0,05; 0,10; 0,15 sau 0,20) volumul traficului crește numai până la o anumită valoare a vitezei (cu atât mai mică cu cât mai neomogen este traficul), după care scade. În schimb, pentru cazul traficului omogen (C = 0,00), volumul de trafic continuă să crească permanent cu viteza, creșterea estompându-se la valori mari, când graficul traficului tinde asimptotic la o valoare limită, rezultând câteva concluzii de interes:

- Pentru fluxurile continue pe o singură bandă de circulație există o similitudine cu comportarea gazelor, astfel că în acest caz se poate spune că pentru modelarea fluxurilor rutiere se pot utiliza elemente ale teoriei gazodinamice.

- În condițiile unui trafic omogen, debitul poate atinge valori mult mai mari decât cele indicate în literatura de specialitate (la viteze de peste 100 km/h se poate ajunge la cca 3000 veh/h). Chiar se constată că o a treia bandă a autostrăzii asigură un debit egal cu suma debitelor de pe prima și a doua bandă de circulație, ceea ce înseamnă că aceasta ar fi soluția ideală pentru autostrăzi, în ciuda costurilor foarte mari pe care le implică investiția.

- Cunoscând fluxul de trafic și densitatea de trafic, se poate determina *viteza medie a fluxului de trafic* (indirect - din ecuația fundamentală a traficului rutier) cu relația de calcul:

$$v[km/h] = \frac{q[Vet/h]}{k[Vet/km]} = \frac{\sum k_i \cdot v_i}{\sum k_i}, \quad (2.37)$$

ceea ce este o medie aritmetică a vitezelor înregistrate pe cele 3 benzi de circulație (considerate constante), ponderată în raport cu densitățile de trafic.

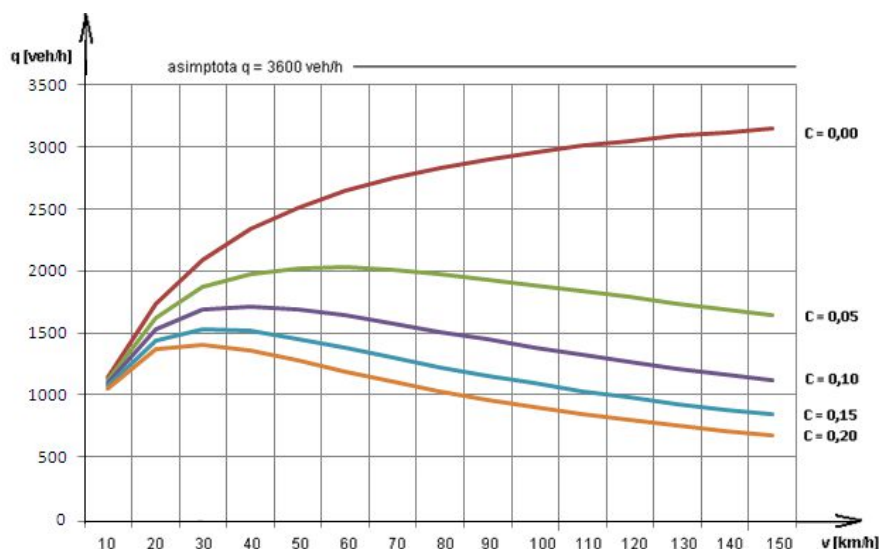


Fig. 2.15. Variația volumului traficului cu viteza, pentru diverse valori ale lui C.

Ca urmare, atunci când se dispune de măsurători ale vitezelor curenților de trafic și ale densităților de trafic, viteza fluxului total se obține agregând vitezele curenților de trafic ca *medie aritmetică a vitezelor*, ponderată în raport cu densitățile de trafic (rel. 2.37).

• Este interesant de analizat și cum se procedează atunci când se dispune de măsurători ale vitezelor curenților de trafic și ale debitelor de trafic: în acest caz se poate determina *viteza medie a fluxului de trafic* (indirect - din ecuația fundamentală a traficului rutier) cu relația de calcul:

$$v[km/h] = \frac{q[Vet/h]}{k[Vet/km]} = \frac{\sum q_i}{\sum k_i} = \frac{\sum q_i}{\sum \frac{q_i}{v_i}} = \frac{q}{\sum \frac{q_i}{v_i}} \quad (2.38)$$

ceea ce este o medie armonică a vitezelor înregistrate pe benzile de pe un sens de circulație (considerate constante), ponderată în raport cu debitele curenților de trafic.

Astfel, atunci când se dispune de măsurători ale vitezelor curenților de trafic și ale debitelor curenților de trafic, viteza fluxului total se obține agregând vitezele curenților de trafic ca *medie armonică a vitezelor*, ponderată în raport cu debitele curenților de trafic (rel. 2.38).

În acest caz se ajunge la forma ecuației fundamentale a traficului prezentată în literatura de specialitate, unde se precizează că viteza din relația analitică este o viteză medie spațială, care se calculează ca o medie armonică a vitezelor observate.

Viteza medie spațială $V_{m,s}$ este deosebită de viteza medie temporală $V_{m,t}$ - în acest caz (când vitezele sunt ale fluxurilor, spre deosebire de cazul când vitezele sunt ale vehiculelor singulare - cum este în subcapitolul de mai înainte) relația dintre cele două viteze medii fiind cea pe care Wardrop a demonstrat-o în anul 1952 [Hall, 1995]:

$$V_{m,t} = V_{m,s} + \frac{D_{v,s}}{V_{m,s}}, \quad (2.39)$$

unde $D_{v,s}$ este dispersia vitezei spațiale în raport cu media.

Se observă că în acest caz (al evaluării vitezei fluxului de vehicule) situația este deosebită de cazul vehiculului singular: *întotdeauna viteza medie temporală este mai mare decât viteza medie spațială*.

Astfel, se relevă un aspect care nu este surprins în literatura de specialitate: cunoscuta relație în care viteza medie spațială este o viteză medie armonică este valabilă doar în cazul fluxurilor de trafic (și nu în cazul vehiculului singular) și datele primare de trafic se obțin prin măsurători ale debitelor de trafic, nu ale densității de trafic (alături, bineînțeles, de măsurători ale vitezelor medii ale curenților de trafic). Mai explicit: *relația (2.38) este valabilă numai atunci când se prelucrează date cu privire la debitele și vitezele fluxurilor de trafic*.

2.5. Evaluarea curenților de trafic din intersecțiile în sens giratoriu pe baza fluxurilor măsurate în puncte fixe

În cazul intersecțiilor în care circulația rutieră este reglementată prin indicatoare de prioritate sau prin regula priorității de dreapta, ca și în cazul intersecțiilor în sens giratoriu, capacitatea de circulație pentru diversele brațe ale intersecției (și, ca urmare, pentru întreaga intersecție) depinde de mărimea volumelor de conflict dintre fluxurile de vehicule, acestea fiind în general continuu variabile în timp, ca urmare a variației continue a curenților de trafic din intersecție (definiți prin traseul urmat de vehiculele ce pătrund în intersecție - brațul de intrare și brațul de ieșire).

În marile orașe din România se observă în ultimii ani un fenomen de proliferare a intersecțiilor în sens giratoriu, apreciindu-se că acest tip de intersecție aduce o serie de avantaje pentru specificul traficului rutier urban, astfel că există preocupări deosebite pentru îmbunătățirea nivelului de serviciu al acestor intersecții.

Metodologia de determinare a nivelului de serviciu pentru intersecțiile în sens giratoriu este prezentată în "*Highway Capacity Manual (2010) - Transportation Research Board, National Academies of Science, USA*", lucrare de referință, revizuită recent - în 2015.

Modelele matematice principale prin care se evaluează capacitatea pentru fiecare braț al intersecției sunt funcție doar de volumul fluxului de conflict, care poate fi foarte simplu înregistrat de către un operator de trafic (un operator pentru fiecare braț al intersecției).

Astfel, **capacitatea unei intersecții în sens giratoriu cu 1 bandă pe calea inelară** se determină cu relația (exponențială):

$$c_a = \frac{3600}{t_f} \cdot \frac{V_c \cdot e^{\frac{-V_c \cdot t_c}{3600}}}{1 - e^{\frac{-V_c \cdot t_f}{3600}}}, \quad (2.40)$$

unde

- c_a este capacitatea brațului (veh-et/oră);
- V_c este volumul conflictual aferent brațului (veh-et/ora);
- t_c este timpul critic de acces din braț în intersecție [sec];
- t_f este timpul de urmare a căii inelare [sec].

Este o relație analitică în care variabila este fluxul de conflict (de pe calea inelară) și se constată că intersecția are capacitatea maximă când fluxurile de conflict sunt nule (cazul teoretic când toate vehiculele virează la dreapta) și are valoarea minimă când fluxurile de conflict sunt maxime (cazul teoretic când toate vehiculele virează la stânga).

Softul Visum utilizează valorile standard: $t_c = 5,1$ s și $t_f = 3,2$ s [PTV AG, 2010-1]. Valoarea fluxului de conflict variază în funcție de volumul de conflict conform graficului prezentat în fig. 2.16, realizat pentru domeniile standard recomandate de [HCM, 2010] și [CNADNR 2009]: $t_c = 4,1 \dots 4,6$ s și $t_f = 2,6 \dots 3,1$ s.

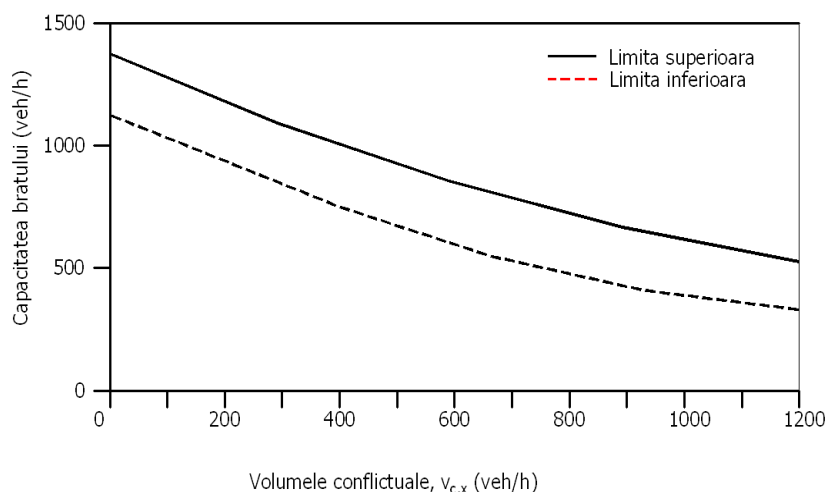


Fig. 2.16. Capacitatea sensurilor giratorii cu o bandă pe calea inelară
[HCM, 2010; CNADNR 2009]

Mai există două modele matematice alternative ce pot fi utilizate pentru cazul unei intersecții în sens giratoriu cu o singură bandă pe calea de rulare [CNADNR, 2009]: un model are ca variabilă doar volumul fluxului de conflict, iar al doilea are două variabile - volumul fluxului de conflict și volumul fluxului de ieșire pe braț (fig. 2.17) – mărimi ce pot fi determinate la fel de simplu, de câte unul sau doi observatori pentru fiecare braț al intersecției.

Capacitatea unui sens giratoriu cu 2 benzi pe calea inelară se determină cu relația următoare:

$$c_a = 3600 \cdot \frac{n_e}{t_f} \cdot e^{-\frac{v_c}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} \right)} \quad (2.43)$$

unde:

- c_a este capacitatea accesului (de pe braț);
- t_c este timpul critic de acces [sec], valorile recomandate fiind 4,1...4,6 s [HCM 2010; CNADNR 2009];
- t_f este timpul de urmare, pe calea inelară [sec], valorile recomandate fiind 2,6...3,1 s [HCM 2010; CNADNR 2009];
- v_c este volumul conflictual aferent brațului;
- n_e este parametrul pentru numărul de benzi:
 $n_e = 1,14$, pentru 2 benzi.

Deci, pentru a evalua analitic capacitatea unei intersecții în sens giratoriu este suficient să se măsoare toate fluxurile circulare (și, pentru una din metode, toate fluxurile de ieșire sau toate fluxurile de intrare) - iar acest lucru este absolut fezabil, cu ajutorul a 1 sau 2 observatori de trafic plasați pe fiecare braț al intersecției – iar verosimilitatea modelului analitic poate fi verificată prin măsurarea efectivă a fluxurilor de intrare sau a fluxurilor de ieșire din intersecție (fig. 2.17) atunci când se manifestă congestia pe sensurile de intrare ale brațelor intersecției.

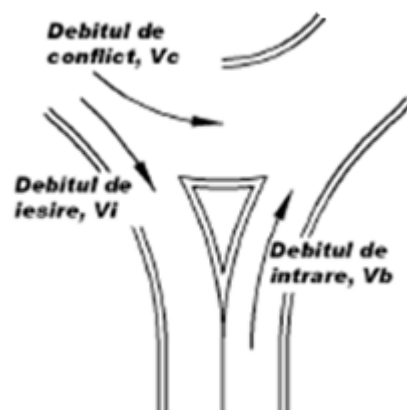


Fig. 2.17. Fluxurile ce pot fi măsurate cu observatori ficși în intersecția în sens giratoriu.

Relația de calcul pentru volumul de conflict este în funcție de volumul curenților de trafic (ce pot fi considerați fluxuri de trafic Origine-Destinație, în funcție de brațul de intrare și brațul de ieșire) din intersecție.

Astfel, volumul de conflict aferent brațului b al unei intersecții în sens giratoriu cu 4 brațe – adoptând o notație crescătoare în sens trigonometric (*notație firească pentru circulația rutieră pe partea dreaptă*, spre deosebire de notația descrescătoare din CNADNR, 2009, numită incorect “în sens trigonometric”, cauza fiind faptul că notația în sens orar este preluată din literatura engleză și este firească pentru circulația pe partea stângă): $b, b+1, b+2, b+3$ (fig. 2.18) - este dat de relația analitică următoare:

$$V_c^b = V_{intoarcere}^{b+1} + (V_{stanga}^{b+2} + V_{intoarcere}^{b+2}) + (V_{inainte}^{b+3} + V_{stanga}^{b+3} + V_{intoarcere}^{b+3}) \quad (2.44)$$

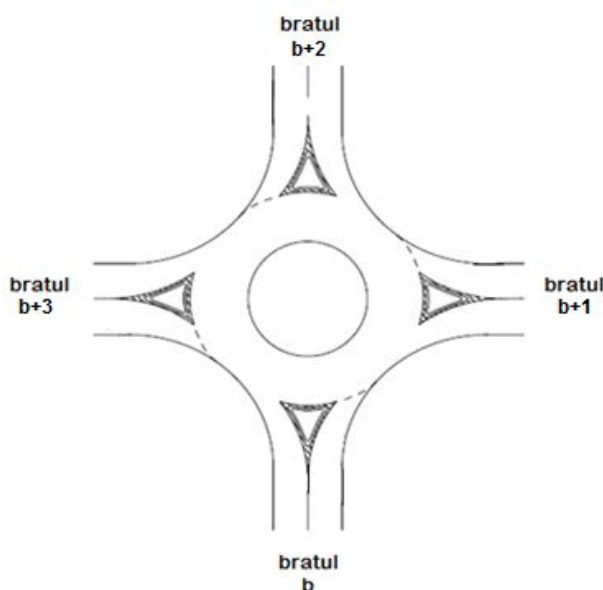


Fig. 2.18. Notațiile pentru brațele intersecției în sens giratoriu.

Metodologiile de calcul a capacității intersecțiilor în sens giratoriu, ce se regăsesc în softurile dezvoltate de firme specializate (așa cum este softul PTV Visum, pentru macrosimularea traficului), se bazează pe modele analitice în care primul pas îl constituie introducerea (ca date de intrare) fluxurilor pentru fiecare curent de trafic din intersecție, rezultând prin calcul analitic mărimea volumelor de intrare și mărimea fluxurilor de conflict pentru fiecare braț (fig. 2.20).

Similar, în softul PTV Vissim pentru microsimularea traficului, metodologia prevede introducerea ca date inițiale a volumelor de intrare pe fiecare braț și a procentelor în care aceste volume se împart în curenți de trafic (pentru intersecția cu 4 brațe: viraj dreapta, înainte, viraj stânga și, eventual, de retur).

În ambele cazuri, dat fiind că nu se cere măsurarea fluxurilor de conflict și introducerea lor ca date inițiale, acest pas este inoperabil fără a recurge la estimări arbitrare. De aici rezultă necesitatea de a îmbunătăți aceste modele cu metode pentru determinarea exactă a mărimii acestor curenți de trafic.

Mai mult, cum amenajarea unei intersecții rutiere (cu reglementarea traseului urmat de fiecare bandă de acces, cu delimitarea benzilor circulare cu marcaje continue sau cu separatoare de bandă) este foarte importantă pentru a crește capacitatea acestora [Kimber, 1980; Akcelik, 2002; Brilon, 2007], apare necesitatea de a cunoaște curenții de trafic din intersecție (ca fluxuri Origine-Destinație la nivel de intersecție).

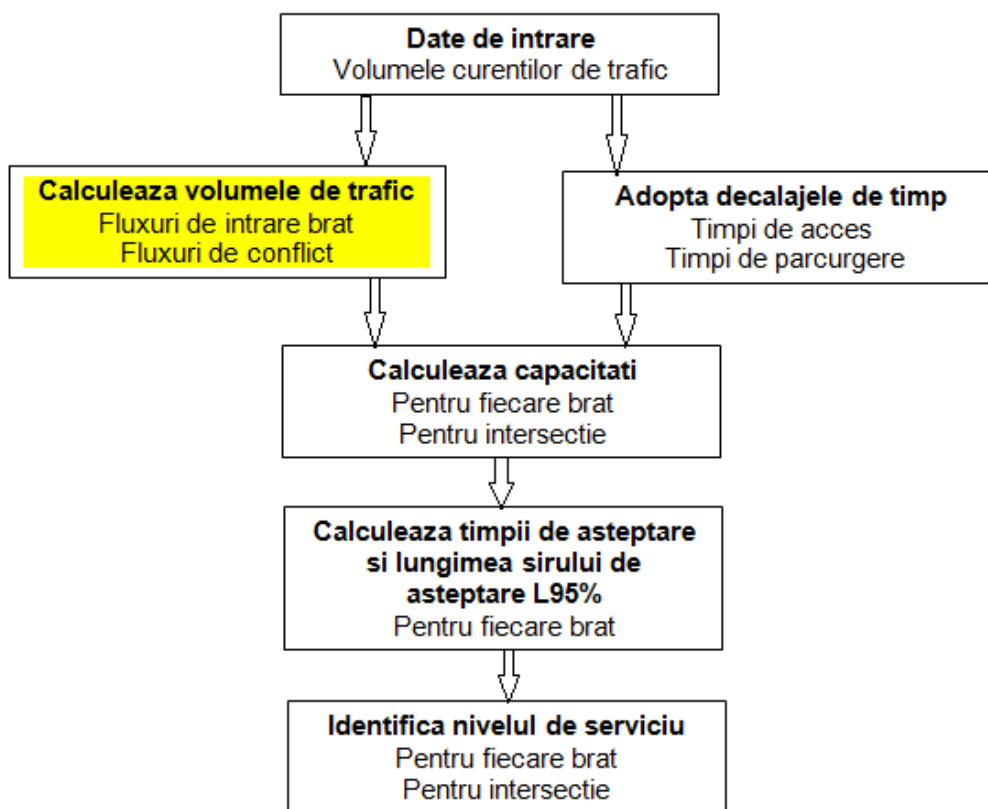


Fig. 2.20. Curenții de trafic ca mărimi de intrare în modelarea traficului rutier [HCM, 2010].

Dar și mai important este că dacă se cunosc acești curenți de trafic se poate reconsidera reglementarea circulației rutiere în zona unde se află intersecția rutieră în sens giratoriu, prin redirectionarea unora dintre fluxurile din proximitatea intersecției astfel încât să se reducă solicitarea intersecției rutiere respective și, ca urmare, să se elimine posibilitatea de apariție a congestiei rutiere [Boroiu, 2003].

Ca urmare, apare următoarea întrebare: *este posibil ca pentru o intersecție în care circulația este reglementată în sens giratoriu, pe baza valorilor măsurate (cu observatori ficși) pentru fluxurile de intrare, fluxurile de ieșire și fluxurile de conflict (circulare), să se determine volumul curenților de trafic (fig. 2.21)?*

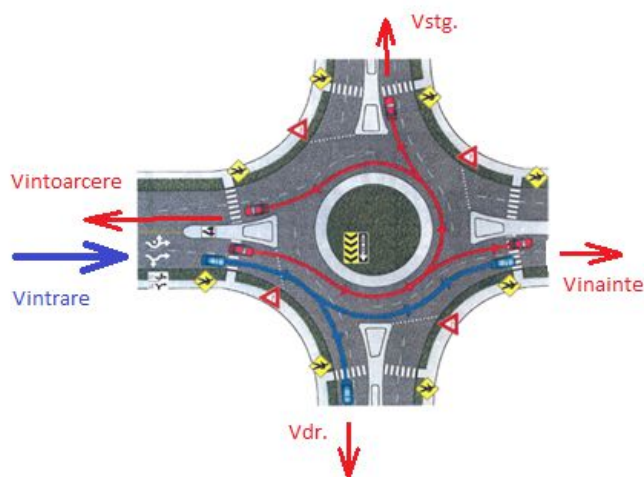


Fig. 2.21. Curenții de trafic rutier corespunzători unui braț al intersecției în sens giratoriu.

O astfel de întrebare a rezultat în următorul caz concret: după ce s-a dat în funcțiune intersecția în sens giratoriu Calea București – Calea Bascovului din Pitești (în 12.10.2015), înainte de a fi dată în funcțiune și supratraversarea rutieră din amonte (fig. 2.22), a apărut congestie rutieră la orele de vârf de trafic și s-a pus întrebarea de către autoritățile locale dacă va dispărea acest fenomen după ce se va da în funcțiune artera rutieră de supratraversare.

Pentru a formula un răspuns fundamentat științific, a trebuit să se determine fluxul de întoarcere de pe brațul Est și, consultând literatura de specialitate, s-a constatat că nu există relații analitice care să permită determinarea acestui flux în funcție de fluxurile ce pot fi măsurate cu observatori ficși (de intrare, de conflict, de ieșire sau chiar fluxurile de viraj dreapta).



Fig. 2.22. Intersecție în sens giratoriu cu 3 brațe în cadrul amenajării rutiere de la Podul Viilor [prelucrare după www.primariapitesti.ro].

Pentru rezolvarea acestei probleme a fost formalizată circulația rutieră din intersecția în sens giratoriu pe baza următoarelor mărimi:

- volumul fluxurilor de intrare: $V_{i,m}$;
- volumul fluxurilor de ieșire: $V_{e,n}$;
- volumul fluxurilor de conflict (circulare): $V_{c,m}$;
- volumul curenților de trafic, $V_{m,n}$.

unde indicele m reprezintă numărul de ordine al brațului de intrare (origine), $m = 1, 2, 3, 4, \dots$, iar n reprezintă numărul de ordine al brațului de ieșire (destinație), $n = 1, 2, 3, 4, \dots$.

Primele 3 categorii de fluxuri sunt fluxurile ce pot fi măsurate, deci ele sunt *date cunoscute* pentru problema formulată, iar ultima categorie de fluxuri reprezintă valorile ce trebuie determinate, deci *datele necunoscute* ale problemei.

Ca urmare, s-a analizat această problemă, pentru a descoperi dacă este rezolvabilă, începând cu cea mai simplă intersecție în sens giratoriu - cea cu 3 brațe.

2.5.1. Intersecția în sens giratoriu cu 3 brațe

Cazul cu cele mai puține variabile este cel în care nu există fluxuri de întoarcere (de retur), situație în care pentru determinarea curenților de trafic din intersecție, este suficient să se măsoare cele 3 fluxuri circulare (care vor fi necesare și la calculul nivelului de serviciu) și cele 3 fluxuri de intrare sau 3 fluxuri de ieșire.

Dar cazul cel mai general pentru intersecția în sens giratoriu cu 3 brațe este cel în care *se au în vedere posibile fluxuri de întoarcere* pe fiecare din cele 3 brațe ale intersecției, pentru care există 9 curenți de trafic și 9 fluxuri măsurabile cu observatori ficși (pe fiecare din cele 3 brațe există 3 fluxuri măsurabile: 1 flux de intrare, 1 flux de ieșire și 1 flux de conflict);

Se constată că în acest caz numărul de relații analitice dintre fluxurile măsurate și curenții de trafic este egal cu numărul de necunoscute (curenții de trafic), deci este cazul unui sistem de 9 ecuații liniare cu 9 necunoscute:

$$\begin{aligned}
 V_{i1} &= V_{12} + V_{13} + V_{11} \\
 V_{i2} &= V_{23} + V_{21} + V_{22} \\
 V_{i3} &= V_{31} + V_{32} + V_{33} \\
 \\
 V_{e1} &= V_{21} + V_{31} + V_{11} \\
 V_{e2} &= V_{32} + V_{12} + V_{22} \\
 V_{e3} &= V_{13} + V_{23} + V_{33} \\
 \\
 V_{c1} &= V_{32} + V_{22} + V_{33} \\
 V_{c2} &= V_{13} + V_{11} + V_{33} \\
 V_{c3} &= V_{21} + V_{11} + V_{22}
 \end{aligned} \tag{2.45}$$

Acest sistem de ecuații poate fi prezentat matricial, pentru a analiza dacă este determinat și dacă este rezolvabil.

S-a utilizat programul Microsoft Excel (poate fi utilizat și programul Matlab) și s-a constatat că determinantul matricei $M_{9,9}$ (cu 9 linii și 9 coloane) este nul, deci sistemul nu este determinat. Continuând analiza, s-a constatat că rangul matricei este 6, deci singurul caz rezolvabil este cel al intersecției cu 3 brațe și fără fluxuri de întoarcere, care este însă rezolvabil, așa cum s-a afirmat anterior, chiar printr-o metodă mai simplă – metoda reducerii [Boroiu, TRANSLU 2016].

Dar există o resursă pentru continuarea cercetării - situația în care se consideră că vor fi măsurate fluxurile de viraj spre dreapta (singurii curenți de trafic care, totuși, pot fi măsurați de câte un observator fix), astfel că problema a fost reluată cu aceste fluxuri drept "*date cunoscute*". A rezultat un sistem de ecuații a cărui matrice asociată este prezentată în tab. 2.6 (V_{id} reprezintă volumul de trafic de pe brațul i ce virează la dreapta).

Tab. 2.6. Matricea fluxurilor rutiere în cazul unei intersecții în sens giratoriu cu 3 brațe (inclusiv cele 3 fluxuri de întoarcere), considerând fluxurile de viraj la dreapta cunoscute.

Date cunoscute	Date necunoscute					
	$V_{1,3}$	$V_{1,1}$	$V_{2,1}$	$V_{2,2}$	$V_{3,2}$	$V_{3,3}$
$V_{i,1}-V_{1d}$	1	1	0	0	0	0
$V_{i,2}-V_{2d}$	0	0	1	1	0	0
$V_{i,3}-V_{3d}$	0	0	0	0	1	1
$V_{e,1}-V_{3d}$	0	1	1	0	0	0
$V_{e,2}-V_{1d}$	0	0	0	1	1	0
$V_{e,3}-V_{2d}$	1	0	0	0	0	1
$V_{c,1}$	0	0	0	1	1	1
$V_{c,2}$	1	1	0	0	0	1
$V_{c,3}$	0	1	1	1	0	0

Utilizând programul Microsoft Excel, s-a constatat că această matrice cu 9 ecuații și 6 necunoscute ($M_{9,6}$) are rangul 6, deci sistemul este rezolvabil: *dacă se măsoară și cele 3 fluxuri de viraj la dreapta, pot fi determinați analitic toți ceilalți curenți de trafic (cele 3 fluxuri de viraj la stânga și cele 3 fluxuri de întoarcere).*

Relațiile de pe cele 3 brațe sunt similare și, utilizând o notație unică pentru toate brațele intersecției, se pot formula relațiile analitice pentru fluxurile de întoarcere și pentru fluxurile de viraj stânga astfel:

$$V_{\text{intoarcere}} = V_{\text{conflict}}^{\text{brat stg.}} - (V_{\text{intrare}}^{\text{brat dr.}} - V_{\text{dr.}}^{\text{brat dr.}}) \quad (2.46)$$

și, de aici:

$$V_{\text{stg.}} = V_{\text{intrare}} - (V_{\text{dr.}} + V_{\text{intoarcere}}), \quad (2.46')$$

unde:

- V_{intrare} , $V_{\text{dr.}}$, $V_{\text{stg.}}$, $V_{\text{intoarcere}}$ sunt volumele fluxurilor aferente brațului pentru care se realizează calculul (brațul analizat) – fig. 2.23;

- $V_{\text{conflict}}^{\text{brat stg.}}$ este volumul de conflict pentru brațul din stânga brațului analizat;
- $V_{\text{intrare}}^{\text{brat dr.}}$ este volumul de intrare pentru brațul din dreapta brațului analizat;
- $V_{\text{dr.}}^{\text{brat dr.}}$ este volumul de viraj dreapta pentru brațul din dreapta brațului analizat.

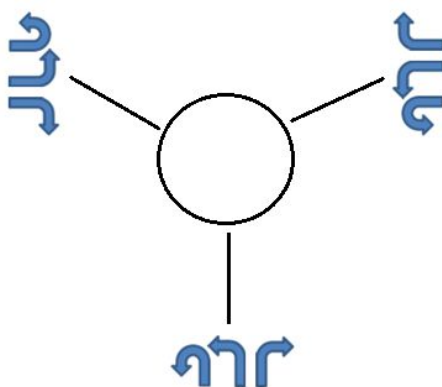


Fig. 2.23. Curenți de trafic din intersecția în sens giratoriu cu 3 brațe și cu fluxuri de retur.

În prima relație analitică a fost evidențiat în paranteză fluxul ce pătrunde pe calea circulară de pe brațul dreapta, $(V_{\text{intrare}}^{\text{brat dr.}} - V_{\text{dr.}}^{\text{brat dr.}})$, deoarece atunci când pentru viraj dreapta există o bandă de bypass (așa cum este pe brațul Nord din intersecția în sens giratoriu Podul Viilor – v. fig. 2.22), acest flux rutier, ce pătrunde frontal pe calea circulară poate fi măsurat direct de un observator fix.

În baza acestor relații, utilizând datele măsurate cu observatori ficși în intersecția în sens giratoriu cu 3 brațe Calea București – Calea Bascovului din Pitești s-a putut oferi un răspuns la întrebarea anterioară: pe brațul Est, fluxul de întoarcere reprezenta 70% din fluxul de intrare și s-a previzionat că acest flux, ce mărește fluxurile de conflict pentru fiecare din celelalte două brațe, se va reduce substanțial după ce se va da în funcțiune artera rutieră de supratraversare (v. fig. 2.22), astfel că nu se va mai produce congestia rutieră semnalată.

Noile măsurători, realizate după ce s-a dat în funcțiune supratraversarea rutieră peste Calea București - au confirmat previziunea, astfel că acest rezultat, obținut pe cale analitică cu ajutorul formulelor originale de mai sus, a relevat necesitatea continuării analizei în scopul organizării circulației în zona intersecției în sens giratoriu astfel încât fluxurile de vehicule ce întorc pe brațul Est (fig. 2.24) să se reducă și mai mult.



Fig. 2.24. Curenții de trafic generați de fluxul de intrare de pe brațul Est al intersecției în sens giratoriu de la Podul Viilor.

2.5.2. Intersecția în sens giratoriu cu 4 brațe

S-a analizat la început cel mai simplu scenariu posibil, când nu se au în vedere fluxuri de întoarcere pe niciun braț, scenariu pentru care se constată că există 12 relații analitice liniare în care se regăsesc cei 12 curenți de trafic (cele 12 variabile), astfel că este cazul unui sistem linear de 12 ecuații cu 12 necunoscute.

Se constată că nu mai este cazul să se ia în discuție un scenariu mai complex, nici măcar cu un flux de întoarcere, căci numărul de necunoscute ar depăși numărul de ecuații liniare și, deci, problema ar fi nerezolvabilă pe cale analitică.

Este, deci, un sistem linear de 12 ecuații cu 12 necunoscute (12 ecuații de gradul 1, care sunt polinoame cu toate variabilele la puterea întâi), care poate fi prezentat matricial, pentru a analiza dacă este determinat și dacă este rezolvabil (tab. 2.7).

Utilizând programul de calcul Microsoft Excel, s-a constatat că determinantul matricei este nul, deci sistemul nu este determinat, adică nu prezintă o soluție unică. S-a constatat că rangul matricei este 8, adică doar 8 ecuații sunt principale, ceea ce înseamnă că se pot determina analitic doar 8 curenți de trafic (în funcție de fluxurile măsurate și de restul de 4 curenți de trafic, ce intervin ca parametri).

Deci, în cazul intersecției în sens giratoriu cu 4 brațe nu pot fi determinați analitic cei 12 curenți de trafic (între care se află și cei 4 curenți de întoarcere sau de retur) în funcție de cele 12 fluxuri ce pot fi măsurate cu observatori fiși.

Totuși, deoarece s-a constatat că rangul matricei este 8, adică 8 ecuații sunt principale, ceea ce înseamnă că se pot determina analitic 8 curenți de trafic, există o continuare a explorării ce prezintă interes: *dacă se consideră fluxurile de vehicule ce virează la dreapta – V_{12} , V_{23} , V_{34} , V_{41} drept parametri (acestea fiind, așa cum s-a afirmat și anterior, posibil de măsurat de către observatori fiși), pot fi determinați analitic ceilalți $4 \times 2 = 8$ curenți de trafic (fluxurile de vehicule care merg înainte și fluxurile de vehicule care virează la stânga)?*

Datele cunoscute sunt cele 12 din matricea $V_{12,12}$, plus cele 4 fluxuri de vehicule ce virează la dreapta, adică 16 date cunoscute.

Astfel, relațiile dintre fluxuri (trecând în membrul stâng al ecuațiilor fluxurile de viraj dreapta ce vor fi considerate parametri - V_{12} , V_{23} , V_{34} , V_{41}) vor fi:

$$\begin{aligned}
V_{i1} - V_{12} &= V_{13} + V_{14} \\
V_{i2} - V_{23} &= V_{24} + V_{21} \\
V_{i3} - V_{34} &= V_{31} + V_{32} \\
V_{i4} - V_{41} &= V_{42} + V_{53} \\
\\
V_{e1} - V_{41} &= V_{21} + V_{31} \\
V_{e2} - V_{12} &= V_{32} + V_{42} \\
V_{e3} - V_{23} &= V_{43} + V_{13} \\
V_{e4} - V_{34} &= V_{14} + V_{24} \\
\\
V_{c1} &= V_{32} + V_{42} + V_{43} \\
V_{c2} &= V_{43} + V_{13} + V_{14} \\
V_{c3} &= V_{14} + V_{24} + V_{21} \\
V_{c4} &= V_{21} + V_{31} + V_{32}
\end{aligned} \tag{2.47}$$

Notând în membrul stâng din primele 8 ecuații (date cunoscute, calculate ca diferență între 2 fluxuri măsurate) cu V_{id} fluxurile de pe brațul i ce virează la dreapta, matricea sistemului de 12 ecuații cu 8 necunoscute (și 12 date cunoscute, rezultate prin măsurarea a 16 fluxuri rutiere - $V_{j,i}$, $V_{j,e}$, $V_{j,c}$ și $V_{j,d}$) va fi cea prezentată în tab. 2.7.

Utilizând programul de calcul Microsoft Excel s-a constatat că rangul matricei $M_{12,8}$ este 8, adică sunt 8 ecuații principale, ceea ce înseamnă că se pot determina analitic cei 8 curenți de trafic necunoscuți.

Se constată că pot fi reținute ca ecuații principale ultimele 4 ecuații (care necesită cunoașterea celor 4 volume de conflict) și primele 4 ecuații (care necesită cunoașterea celor 4 volume de intrare și a celor 4 volume de viraj la dreapta) sau ecuațiile 5-8 (care necesită cunoașterea celor 4 volume de ieșire și a celor 4 volume de viraj la dreapta).

Tab. 2.7. Matricea celor 8 fluxuri rutiere pe direcția înainte și pe direcția la stânga în cazul unei intersecții în sens giratoriu cu 4 brațe (fără fluxuri de întoarcere).

Date cunoscute	Date necunoscute, $V_{m,n}$							
	$V_{1,3}$	$V_{1,4}$	$V_{2,4}$	$V_{2,1}$	$V_{3,1}$	$V_{3,2}$	$V_{4,2}$	$V_{4,3}$
$V_{i1}-V_{1d}$	1	1	0	0	0	0	0	0
$V_{i2}-V_{2d}$	0	0	1	1	0	0	0	0
$V_{i3}-V_{3d}$	0	0	0	0	1	1	0	0
$V_{i4}-V_{4d}$	0	0	0	0	0	0	1	1
$V_{e1}-V_{4d}$	0	0	0	1	1	0	0	0
$V_{e2}-V_{1d}$	0	0	0	0	0	1	1	0
$V_{e3}-V_{2d}$	1	0	0	0	0	0	0	1
$V_{e4}-V_{1d}$	0	1	1	0	0	0	0	0
$V_{c,1}$	0	0	0	0	0	1	1	1
$V_{c,2}$	1	1	0	0	0	0	0	1
$V_{c,3}$	0	1	1	1	0	0	0	0
$V_{c,4}$	0	0	0	1	1	1	0	0

Rezultă astfel că pot fi determinate analitic cele 4 fluxuri de mers înainte și cele 4 fluxuri de viraj la stânga, dacă sunt măsurate cele 4 volume de conflict, cele 4 volume de viraj la dreapta și încă 4 fluxuri: fie cele 4 fluxuri de intrare, fie cele 4 fluxuri de ieșire.

La fel ca în cazul intersecției cu 3 brațe, și în acest caz relațiile pentru cele 4 brațe sunt similare și, utilizând o notație unică pentru toate brațele intersecției, se pot formula relațiile analitice pentru fluxurile de mers înainte și pentru fluxurile de viraj stânga astfel:

$$V_{stg.} = V_{conflict}^{brat\ fata} - (V_{intrare}^{brat\ dr.} - V_{dr.}^{brat\ dr.}) \quad (2.48)$$

și, de aici:

$$V_{inainte} = V_{intrare} - (V_{dr.} + V_{stg.}) , \quad (2.48')$$

unde:

- $V_{intrare}$, $V_{dr.}$, $V_{stg.}$, $V_{inainte}$ sunt volumele fluxurilor aferente brațului pentru care se realizează calculul (brațul analizat) – fig. 2.25;
- $V_{conflict}^{brat\ fata}$ este volumul de conflict pentru brațul din fața brațului analizat;
- $V_{intrare}^{brat\ dr.}$ este volumul de intrare pentru brațul din dreapta brațului analizat;
- $V_{dr.}^{brat\ dr.}$ este volumul de viraj dreapta pentru brațul din dreapta brațului analizat.

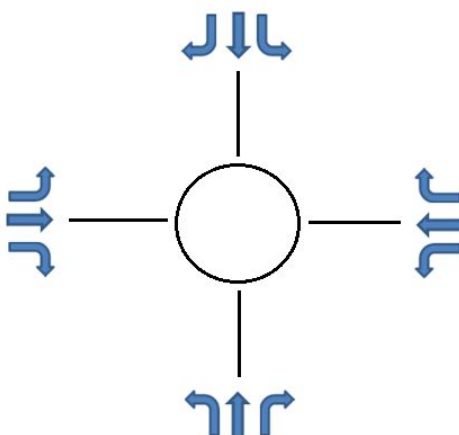


Fig. 2.25. Curenții de trafic din intersecția în sens giratoriu cu 4 brațe și fără fluxuri de retur.

2.5.3. Sinteza rezultatelor obținute în urma cercetărilor teoretice

Acest lucru înseamnă că pentru intersecțiile cu 3 brațe și cu fluxuri de întoarcere și pentru intersecțiile cu 4 brațe fără fluxuri de întoarcere este posibil să se cunoască complet curenții de trafic pe baza fluxurilor măsurate cu observatori ficși (care să includă obligatoriu fluxurile de viraj la dreapta), ceea ce este o realizare absolut inedită și interesantă, căci ascești algoritmi de calcul pot fi integrați în programele de simulare a traficului, ceea ce va permite reconsiderarea reglementării circulației rutiere în zona unde se află intersecția rutieră în sens giratoriu, în scopul fluidizării circulației rutiere în zonă și a eliminării fenomenelor de congestie rutieră.

2.6. Realizarea programelor de calcul pentru volumele de trafic din intersecțiile în sens giratoriu

Pentru fiecare din cele două cazuri ce s-au dovedit rezolvabile pe baza datelor măsurate cu observatori ficși, pe baza fiecărui set de relații analitice a fost realizat câte un program de calcul ce permite, după introducerea datelor măsurate (volumele de intrare, volumele de conflict și volumele de viraj dreapta), obținerea valorilor pentru fluxurile necunoscute de pe calea circulară.

Deoarece o adevărată valorificare a metodei analitice descoperite presupune conceperea unor programe de calcul într-unul din limbajele de programare dedicate, s-au realizat două programe de calcul în limbajul de programare Java (fig. 2.26 și fig. 2.27), cele două listări ale programelor fiind prezentate în Anexa 1 și Anexa 2. Interfețele pentru cele două programe sunt foarte accesibile, așa cum se observă în aceste figuri.

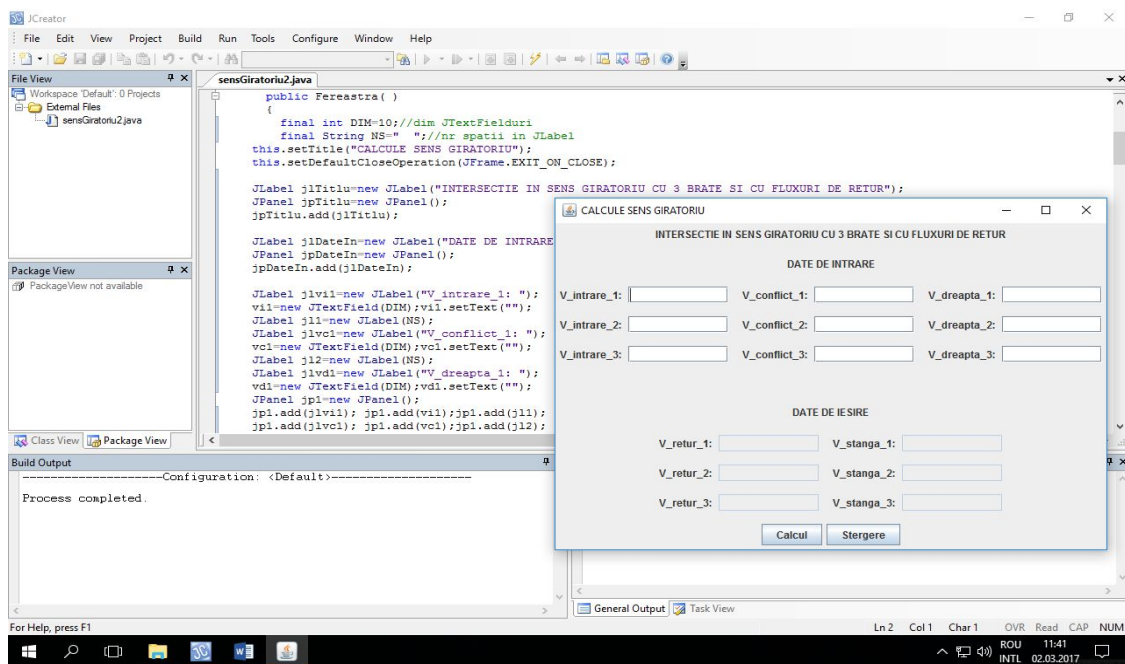


Fig. 2.26. Realizarea programului Java pentru intersecțiile în sens giratoriu cu 3 brațe și cu fluxuri de retur.

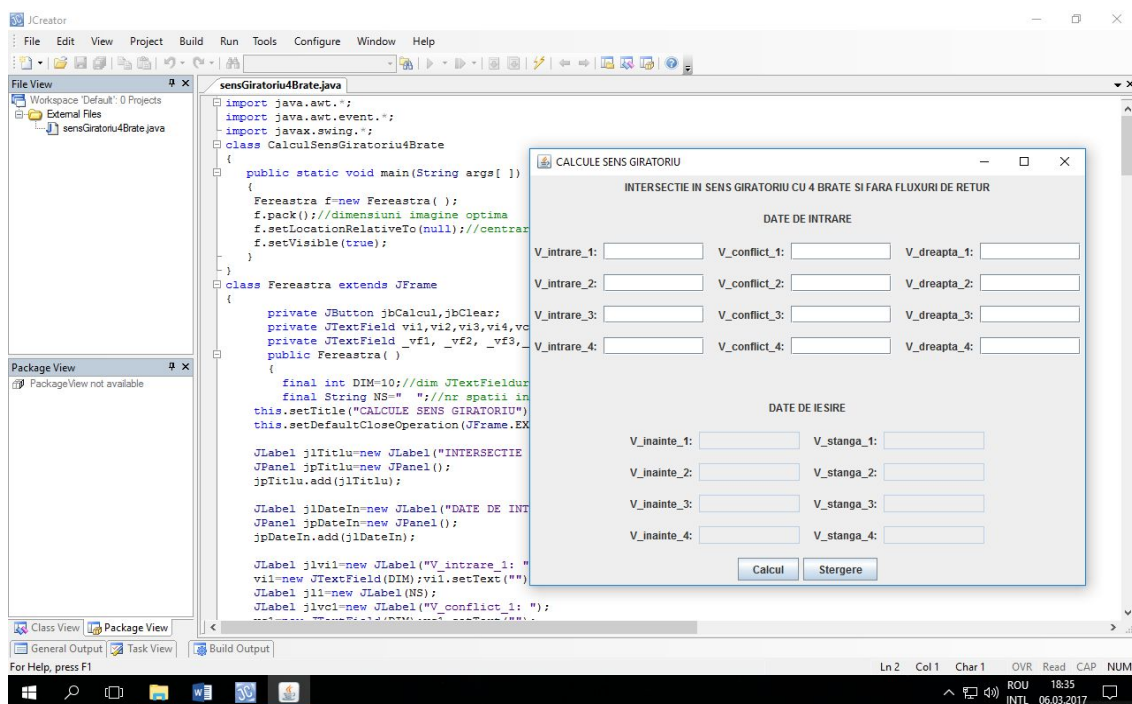


Fig. 2.27. Realizarea programului Java pentru intersecțiile în sens giratoriu cu 4 brațe și fără fluxuri de retur.

Pentru a veni în întâmpinarea oricărei necesități, programul funcționează și în cazul când sunt necesare doar rezultate parțiale (situație când se măsoară numai fluxurile necesare).

În cazul în care sunt necesare analize pentru toate brațele intersecției, se realizează măsurători complete – fig. 2.30 și fig. 2.31.

CALCULE SENS GIRATORIU

INTERSECȚIE ÎN SENS GIRATORIU CU 3 BRATE ȘI CU FLUXURI DE RETUR

DATE DE INTRARE

V_intrare_1:	700	V_conflict_1:	850	V_dreapta_1:	50
V_intrare_2:	800	V_conflict_2:	900	V_dreapta_2:	100
V_intrare_3:	900	V_conflict_3:	950	V_dreapta_3:	150

DATE DE IESIRE

V_retur_1:	250	V_stanga_1:	400
V_retur_2:	100	V_stanga_2:	600
V_retur_3:	250	V_stanga_3:	500

Calcul Stergere

Fig. 2.30. Analiza traficului pentru toate brațele cu programul Java pentru intersecțiile în sens giratoriu cu 3 brațe și cu fluxuri de retur.

CALCULE SENS GIRATORIU

INTERSECȚIE ÎN SENS GIRATORIU CU 4 BRATE ȘI FĂRĂ FLUXURI DE RETUR

DATE DE INTRARE

V_intrare_1:	700	V_conflict_1:	850	V_dreapta_1:	50
V_intrare_2:	800	V_conflict_2:	900	V_dreapta_2:	100
V_intrare_3:	900	V_conflict_3:	950	V_dreapta_3:	150
V_intrare_4:	1000	V_conflict_4:	1050	V_dreapta_4:	250

DATE DE IESIRE

V_inainte_1:	400	V_stanga_1:	250
V_inainte_2:	400	V_stanga_2:	300
V_inainte_3:	650	V_stanga_3:	100
V_inainte_4:	500	V_stanga_4:	250

Calcul Stergere

Fig. 2.31. Analiza traficului pentru toate brațele cu programul Java pentru intersecțiile în sens giratoriu cu 4 brațe și fără fluxuri de retur.

Etapa finală pentru valorificarea acestor două programe va fi realizarea lor ca pagini web, în format HTML (HyperText Markup Language – lb. engl.), astfel încât să poată fi accesate liber pe Internet de orice utilizator.

2.8. Realizarea programelor de calcul pentru volumele de trafic din intersecțiile în sens giratoriu pentru cazul includerii parametrului PHF

Continuând explorarea teoretică a problemei, s-a constatat că este posibilă realizarea unui program de calcul și pentru situația mai complexă în care se ia în calcul factorul orar de vârf PHF (Peak Hour Factor).

Ca urmare, având în vedere că factorul orar de vârf PHF este un indicator numeric ce caracterizează variația volumului de trafic în interval de o oră, relația de calcul pentru PHF fiind următoarea:

$$VHF = \frac{\frac{\sum_{i=1}^4 V_{15min,i}}{4}}{V_{15min,max}} = \frac{\sum_{i=1}^4 V_{15min,i}}{4 \cdot V_{15min,max}} = \frac{V_h}{4 \cdot V_{15min,max}} \quad (2.49)$$

și, cunoscând valorile factorului orar de vârf PHF pentru fiecare curent de trafic de pe calea circulară a intersecției în sens giratoriu, se pot corecta toate volumele de trafic (măsurate sau calculate) de pe calea circulară.

Astfel, au fost realizate și pentru aceste situații două programe de calcul în Microsoft Excel, așa cum se prezintă în următoarele două extrase din programe, pentru intersecția în sens giratoriu cu 3 brațe (tab. 2.8) sau cu 4 brațe (tab. 2.9).

Tab. 2.8. Extras cu date prelucrate prin programul de calcul realizat în Microsoft Excel pentru intersecția cu 3 brațe și cu fluxuri de întoarcere.

IG cu 3 brațe și cu fluxuri de întoarcere							
Date de ieșire ajustate cu PHF							
Braț	PHF _{dr}	V _{dr} /PHF _{dr}	PHF _{retur}	V _{ret} /PHF _{retur}	PHF _{stg}	V _{stg} /PHF _{stg}	V _{intrare}
Brațul 1	0.90	56	0.95	263	0.80	500	819
Brațul 2	0.80	125	0.60	167	1.00	600	892
Brațul 3	0.85	176	0.65	385	1.00	500	1061

Tab. 2.9. Extras cu date prelucrate prin programul de calcul realizat în Microsoft Excel pentru intersecția cu 4 brațe și fără fluxuri de întoarcere.

IG cu 4 brațe și fără fluxuri de întoarcere							
Date de ieșire ajustate cu PHF							
Braț	PHF _{dr}	V _{dr} /PHF _{dr}	PHF _{stg}	V _{stg} /PHF _{stg}	PHF _{față}	V _{față} /PHF _{față}	V _{intrare}
Brațul 3	0.80	188	0.60	167	1.00	650	1004
Brațul 4	0.85	294	0.65	385	1.00	500	1179
Brațul 1	0.90	56	0.95	263	0.80	500	819
Brațul 2	0.95	105	0.90	333	0.90	444	883
Brațul 3	0.80	188	0.60	167	1.00	650	1004
Brațul 4	0.85	294	0.65	385	1.00	500	1179

Astfel, prin acești algoritmi de calcul și cu ajutorul acestor programe de calcul, ce au caracter de noutate, se pot obține cu acuratețe și destul de facil volumele curenților de trafic de pe calea circulară a intersecției în sens giratoriu - mărimi necesare ulterior pentru evaluarea nivelului de serviciu al intersecției, pentru evaluarea poluării produse de traficul rutier, ca și pentru modelarea macroscopică a traficului rutier la nivelul întregii rețele rutiere analizate.

2.9. Studiul posibilităților de creștere a nivelului de serviciu al unei intersecții rutiere prin transformarea acesteia în intersecție cu sens giratoriu

În ultimii ani, datorită creșterii substanțiale a traficului atât în interiorul orașelor cât și în afara acestora, pentru calmarea și pentru fluidizarea acestuia a apărut necesitatea introducerii sensurilor giratorii, care pot fi o soluție pentru toate acestea, în anumite situații.

În acest context a fost elaborat studiul de trafic [Neagu E., Boroiu A-A., Ban S., 2015-2] ce a avut drept scop evaluarea oportunității transformării intersecției (având circulația reglementată prin semne de cedare a priorității) ce face legătura între drumul european secundar E 574 (Pitești – Câmpulung) și drumul național DN 73D (spre municipiul Mioveni) - care reprezintă principalul nod rutier ce face legătura municipiului Mioveni cu municipiul Pitești sau cu drumul european E 81 – într-o intersecție cu sens giratoriu (fig. 2.37).

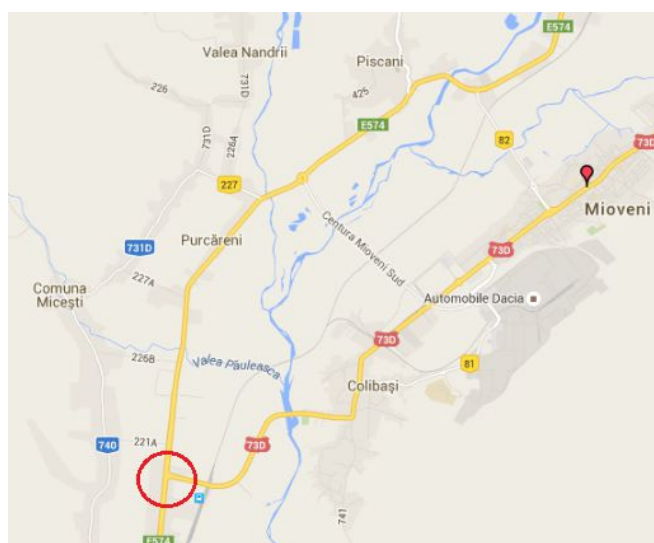


Fig. 2.37. Intersecția rutieră E 574 - DN 73D.

Pentru vehiculele ce pătrund în intersecție dinspre Mioveni, deci care cedează trecerea la intrarea în intersecție, se constată că în perioadele de vârf de trafic (mai ales la ieșirea din primul schimb de lucru) timpul de așteptare pentru a pătrunde în intersecție este foarte mare. Ca urmare, a fost necesară o cercetare științifică în baza căreia să se propună soluții pentru problema relevată, prezentată în continuare.

Pentru determinarea volumului traficului rutier au fost efectuate contorizări de trafic pe brațele de acces în intersecția nesemaforizată analizată.

Valorile întârzierilor de control corespunzătoare fiecărui nivel de serviciu pentru intersecții, precizate în Metodologia [CNADNR, 2009], sunt redate în tab. 2.10.

Tab. 2.10. Nivelul de serviciu al intersecțiilor rutiere în funcție de valorile întârzierilor de control.

Nivel de serviciu	Întârzieri de control [s/veh]
A	< 10
B	10 - 15
C	15 - 25
D	25 - 35
E	35 - 50
F	> 50

Au rezultat valorile întârzierilor de control și, corespunzător, nivelurile de serviciu pentru fiecare braț - prezentate în tab. 2.11.

Tab. 2.11. Întârzierile de control și nivelurile de serviciu pentru brațele intersecției actuale în ziua de Vineri.

Brațul	Întârzierea de control [s/veh]	Nivelul de serviciu
Braț Campulung (Nord)	0	A
Braț Mioveni (Est)	112	F
Braț Pitesti (Sud)	3.45	A

În final s-a realizat agregarea întârzierilor pe intersecție, cu ajutorul relației:

$$d_i = \frac{d_E \cdot v_E + d_S \cdot v_S + d_N \cdot v_N}{v_E + v_S + v_N} \quad (2.52)$$

unde:

- d_i - întârzierea pe intersecție;
- d_E, d_N, d_S - întârzierea de control pentru brațele Est, Nord, Sud;
- v_V, v_N, v_E - volumele de trafic corespunzător brațelor Est, Nord, Sud.

A rezultat valoarea de 23,36 sec/veh pentru întârzierea de control la nivel de intersecției, corespunzător nivelului de serviciu C, ceea ce înseamnă o circulație acceptabilă la nivelul intersecției. Dar aceasta a rezultat ca medie ponderată între cele 3 brațe ale intersecției. Astfel, în timp ce brațele Pitești și Câmpulung au nivelul de serviciu A, brațul Mioveni are nivelul de serviciu F, cel mai slab nivel, aceasta însemnând un flux forțat ce operează la viteze mici, când volumele de trafic sunt peste capacitatea disponibilă și atât viteza cât și volumul traficului pot scădea la zero, iar ambuteiajele pot apărea pe perioade mai lungi de timp datorită congestiei traficului.

Astfel, în urma calculelor efectuate pentru intersecția actuală a rezultat un nivel de serviciu C în timpul zilelor lucrătoare, ceea ce din punct de vedere al capacității de circulație ar putea fi acceptabil, dar se poate spera ca prin transformarea intersecției într-o intersecție cu sens giratoriu să fie îmbunătățit nivelul de serviciu. Analizând spațiul disponibil, se constată că este posibilă amenajarea intersecției în sens giratoriu cu două benzi pe calea inelară, așa cum se prezintă în fig. 2.39.

Urmând algoritmul de lucru pentru intersecțiile cu sens giratoriu [CNADNR, 2009], s-au obținut în final valorile pentru întârzierile de control, - prezentate în tab. 2.12.

Tab. 2.12. Întârzierile de control și nivelurile de serviciu pentru brațele intersecției cu sens giratoriu pentru zi lucrătoare.

Brațul	Întârzierea de control [s/vehicul]	Nivelul de serviciu
Braț Câmpulung (Nord)	19.2	C
Braț Mioveni (Est)	8.5	A
Braț Pitești (Sud)	6.1	A

Se constată că valorile obținute pentru cele 3 brațe sunt mai apropiate între ele, față de cazul intersecției actuale. Astfel, nivelurile de serviciu obținute pentru cele 3 brațe vor fi

C, A, A, pe când pentru intersecția actuală ele sunt mult diferite: A, F, A. În final s-a realizat agregarea întârzierilor în intersecție (pentru ziua lucrătoare, ce are traficul cel mai intens), cu ajutorul relației folosite și mai înainte, relația (2.52). S-a obținut valoarea de 12.1 s/veh, ceea ce corespunde nivelului de serviciu B, superior nivelului de serviciu actual - nivelul C.

Dar, cum intersecția este cu congruența medianelor decalată, se poate organiza circulația astfel încât fluxul rutier de pe drumul E 574 pe direcția Câmpulung – Pitești să fie preselectat pe banda din dreapta și să aibă prioritate (fig. 2.39), soluție care conduce la numai 3 puncte de conflict și la creșterea nivelului de serviciu al brațului Câmpulung și, deci al întregii intersecții. Reluarea calculului conform metodologiei [CNADNR, 2009] a condus la reducerea sub 10 secunde a întârzierii pe brațul Câmpulung, astfel că, în această soluție de organizare a circulației, nivelul de serviciu al intersecției este A - nivelul maxim.

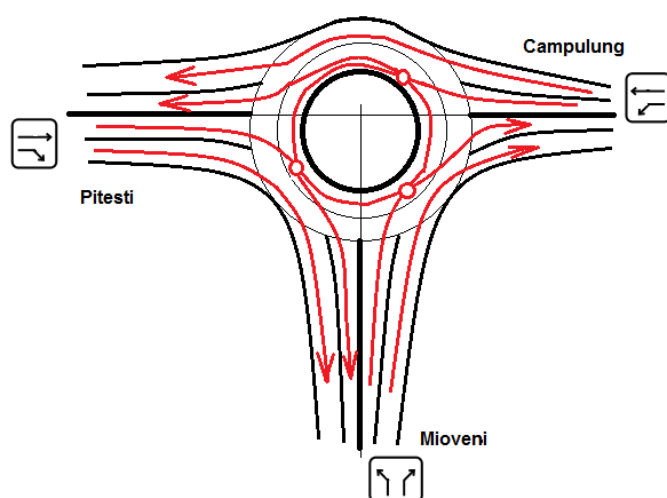


Fig. 2.39. Propunerea de organizare a circulației în sens giratoriu.

În concluzie, se constată că transformarea intersecției rutiere cu circulația reglementată prin indicatoare de prioritate într-o intersecție cu sens giratoriu aduce două avantaje majore în ceea ce privește circulația în intersecție:

- 1 – îmbunătățirea și omogenizarea nivelurilor de serviciu pentru brațele intersecției;
- 2 – îmbunătățirea nivelului de serviciu al intersecției: în prima variantă, întârzierea de control la nivelul întregii intersecții s-a redus chiar la jumătate, ceea ce înseamnă o îmbunătățire a nivelului de serviciu al intersecției, de la nivelul C la nivelul B, în varianta a doua (cu prioritate pentru fluxul Câmpulung – Pitești) ajungându-se chiar la nivelul de serviciu A.

De asemenea, se constată că intersecțiile în sens giratoriu permit o mai bună preluare a vârfurilor de trafic ce apar pe unul din brațele intersecției, așa cum este cazul brațului Mioveni: creșterile foarte mari ale volumului de trafic pe un braț al intersecției nu determină creșteri la fel de mari ale întârzierilor de control pe brațul respectiv.

Toate aceste rezultate obținute susțin necesitatea organizării circulației în sens giratoriu pentru intersecțiile cu variații mari ale traficului pe unul din brațe.

2.10. Validarea modelelor de trafic

Cea mai utilizată metodă pentru validarea modelelor de trafic se bazează pe indicatorul GEH statistic. Acronimul prin care se notează indicatorul provine de la numele inginerului britanic Geoffrey E. Havers [https://en.wikipedia.org/wiki/GEH_statistic], care l-a inventat în anii 1970 și l-a utilizat în activitatea pe care a desfășurat-o ca planificator de transport în Londra.

Relația pentru indicatorul GEH este:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (2.53)$$

unde M este traficul orar modelat (estimat), iar C este traficul orar contorizat (real).

Deși relația matematică este similară testului χ^2 (Chi-pătrat), GEH nu este o statistică propriu-zisă, ci mai degrabă o formulă empirică ce se dovedește utilă în numeroase cazuri de analiză a traficului.

Faptul că în analizele de trafic este preferat indicatorul GEH și nu abaterea procentuală se justifică prin aceea că el permite o comparație mai realistă a două volume de trafic pentru o plajă largă de valori.

Neliniaritatea indicatorului GEH în funcție de volumul traficului permite acceptarea unor abateri mai mari pentru un trafic redus și a unor abateri mai mici pentru un trafic intens.

Într-un scenariu de bază al unui proiect de modelare a traficului, un indicator GEH mai mic de 5% relevă o bună corelație între volumele orare modelate și observate (volumele observate pe durate de timp mai lungi sau mai scurte trebuie să fie convertite în volume orare, pentru a putea utiliza aceste limite ale GEH). Conform Manualului de Proiectare a Drumurilor și Podurilor (DRMB), *un model de trafic este verosimil (sau este validat) dacă pentru 85% din volumele modelului de trafic GEH este mai mic de 5. Dacă GEH este între 5 și 10, atunci este nevoie de o cercetare aprofundată pentru îmbunătățirea modelului. Dacă GEH este mai mare de 10, atunci este foarte probabil să existe probleme fie cu modelul de trafic, fie cu datele culese pentru validare* (deci, ar putea fi o simplă problemă de culegere sau introducerea datelor sau, într-un mod mai complex, de calibrare a modelului).

Evident, indicatorul GEH este puțin perceptibil, iar valorile limită, $GEH = 5$ sau $GEH = 10$, sunt puțin relevante. Ca urmare, apare necesitatea ca indicatorul GEH să fie explicat astfel încât să fie înțeles cât mai realist de către orice utilizator.

Cum cel mai perceptibil indicator pentru orice evaluator este abaterea procentuală a traficului orar M față de traficul orar C, este interesant de identificat corelația dintre acest indicator statistic și indicatorul GEH.

Astfel, introducând mărimea $x = M/C$, mărimea $100 \cdot x$ este chiar abaterea procentuală a traficului orar M față de traficul orar C, deci se pot explicita termenii din formula indicatorului GEH în raport cu această mărime:

$$M - C = x \cdot C, \quad (2.52)$$

$$M + C = (M - C) + 2C = x \cdot C + 2C = (x + 2)C, \quad (2.53)$$

astfel că, introducând aceste relații în formula indicatorului GEH, rezultă succesiv:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} = \sqrt{\frac{2(xC)^2}{(x+2)C}} \quad (2.54)$$

$$GEH^2 = \frac{2(xC)^2}{(x+2)C} \quad (2.55)$$

$$2(xC)^2 = GEH^2 \cdot (x + 2)C \quad (2.56)$$

$$2x^2C = GEH^2 \cdot (x + 2) \quad (2.57)$$

$$2x^2C - GEH^2 \cdot x - 2GEH^2 = 0, \quad (2.58)$$

ultima egalitate fiind o ecuație de gradul 2, cu variabila x, de unde rezultă cele două soluții posibile pentru x:

$$x_{1,2} = \frac{GEH^2 \pm \sqrt{(GEH^2)^2 + 4 \cdot 2C \cdot (2GEH^2)}}{2 \cdot 2C} = \frac{GEH^2 \pm \sqrt{GEH^4 + 16 \cdot C \cdot GEH^2}}{4C} \quad (2.59)$$

Se observă că soluția x_2 este negativă pentru orice valoare a variabilei C și a parametrului GEH , așa că se reține doar soluția x_1 , care, prin amplificarea cu 100, va fi chiar soluția unică (notată mai simplu, cu x) pentru abaterea procentuală:

$$x[\%] = 100 \cdot \frac{GEH^2 + \sqrt{GEH^4 + 16 \cdot C \cdot GEH^2}}{4C} = 100 \cdot GEH \cdot \frac{GEH + \sqrt{GEH^2 + 16 \cdot C}}{4C} \quad (2.60)$$

Pentru a evidenția corelația dintre abaterea procentuală $x[\%]$ și indicatorul GEH s-au determinat tabelar, și s-au reprezentat grafic, cu ajutorul programului Microsoft Excel, variațiile $x(C)$ pentru cele două valori limită ale indicatorului GEH (traficul contorizat C este variabilă, iar GEH este parametru, cu valorile limită $GEH = 5$ și $GEH = 10$).

$$x[\%](GEH = 5) = 100 \cdot 5 \cdot \frac{5 + \sqrt{5^2 + 16 \cdot C}}{4C} = 500 \cdot \frac{5 + \sqrt{25 + 16 \cdot C}}{4C} \quad (2.61)$$

$$x[\%](GEH = 10) = 100 \cdot 10 \cdot \frac{10 + \sqrt{10^2 + 16 \cdot C}}{4C} = 1000 \cdot \frac{10 + \sqrt{100 + 16 \cdot C}}{4C}, \quad (2.62)$$

rezultând graficul prezentat în fig. 2.41.

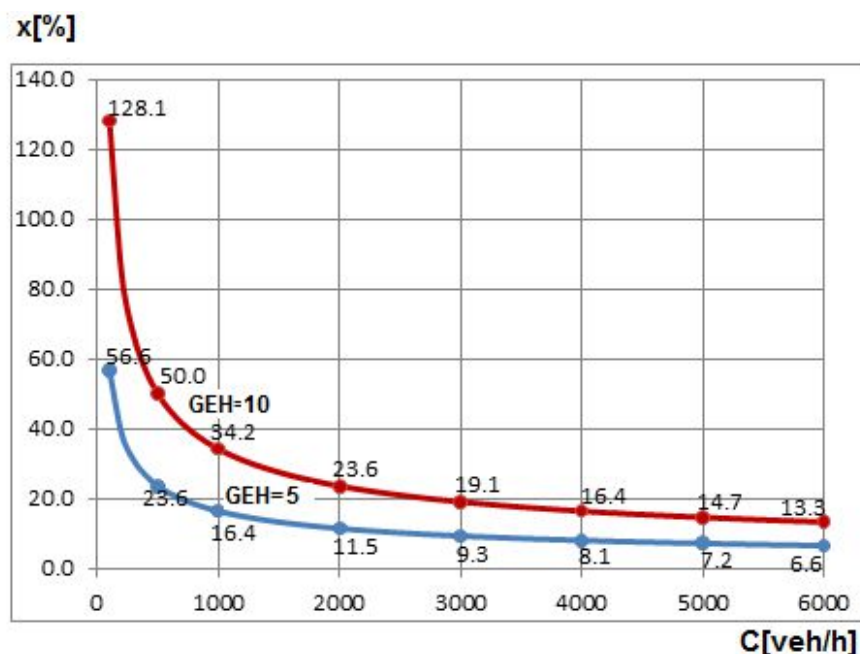


Fig. 2.41. Graficul abaterilor procentuale pentru $GEH = 5$ și $GEH = 10$, în funcție de volumul orar al traficului.

Se observă că, într-adevar, pentru valori mari ale traficului orar C sunt permise doar abateri mici, dar pentru valori mici ale traficului orar C abaterile permise cresc puternic.

În acest fel s-a realizat o prezentare mult mai perceptibilă a indicatorului GEH (utilizat pentru validarea modelelor de trafic rutier), ceea ce prezintă interes deosebit în ingineria traficului rutier.

Dar, foarte interesant, pentru C tinzând la infinit, raportul între cele două valori tinde descrescător la 2:1 și valorile tind (tot descrescător, evident) către zero.

Aceasta, pentru că (pentru orice valoare a lui GEH , deci și pentru cele două valori etalon, $GEH = 5$ și $GEH = 10$) există relațiile:

$$\lim_{C \rightarrow \infty} x[\%] = \lim_{C \rightarrow \infty} 100 \cdot GEH \cdot \frac{GEH + \sqrt{GEH^2 + 16 \cdot C}}{4C} = 0 \quad (2.63)$$

și

$$\lim_{C \rightarrow \infty} \frac{x_M[\%]}{x_m[\%]} = \lim_{C \rightarrow \infty} \frac{100 \cdot GEH_M \cdot \frac{GEH_M + \sqrt{GEH_M^2 + 16 \cdot C}}{4C}}{100 \cdot GEH_m \cdot \frac{GEH_m + \sqrt{GEH_m^2 + 16 \cdot C}}{4C}} = \frac{GEH_M}{GEH_m} = \frac{10}{5} = 2 \quad (2.64)$$

Se observă că, pentru valori mici ale traficului, abaterea procentuală $x[\%]$ este mai mare decât GEH, dar scade mereu pe măsură ce crește volumul de trafic C , de la o anumită valoare scăzând sub valoarea lui GEH (așa cum se observă pe primul grafic, dar și în tabel, în apropiere de $C = 10000$ vehicule). Astfel, este interesant de calculat această valoare a volumului de trafic C pentru care cele două mărimi sunt egale: $GEH = x = 0,05$. Această mărime poate fi notată cu C_{egal} .

Pentru aceasta, prelucrând relația (2.57) și introducând valorile $GEH = 0,05$ și $x = 0,05$ se obține valoarea căutată pentru C_{egal} :

$$2x^2C = GEH^2 \cdot (x + 2) \Rightarrow C_{egal} = \frac{GEH \cdot (x + 2)}{2x^2} = \frac{5 \cdot (0,05 + 2)}{2 \cdot 0,05^2} = \frac{5 \cdot 2,05}{2 \cdot 0,0025} = 10250 \text{ veh/h}, \quad (2.65)$$

care, evident, nu prezintă decât interes teoretic, deoarece este mult peste valorile posibile ale volumului de trafic pe un sens de circulație, chiar în cazul marilor autostrăzi.

2.11. Concluzii, contribuții teoretice și realizări proprii

Cercetările teoretice și experimentale cuprinse în acest capitol au permis obținerea următoarelor concluzii, contribuții teoretice și realizări proprii:

1. Pentru a elucida ambiguitățile cu privire la relația de ordine dintre viteza medie temporală și viteza medie spațială au fost dezvoltate cercetări teoretice pentru cele două cazuri posibile: deplasarea cu viteză variabilă a unui vehicul singular, respectiv deplasarea cu viteză variabilă a unui flux de vehicule, și s-a ajuns la rezultate teoretice edificatoare:

- în cazul unui vehicul singular, *întotdeauna viteza medie temporală este mai mică decât viteza medie spațială*:

$$V_{m,t} < V_{m,s} \quad (2.66)$$

- în cazul unui flux de vehicule, *întotdeauna viteza medie temporală este mai mare decât viteza medie spațială*:

$$V_{m,t} > V_{m,s} \quad (2.67)$$

2. A fost realizată o amplă analiză teoretică pentru procesul de depășire, pentru care, având în vedere obligațiile impuse de legislația rutieră și posibilitățile pe care le oferă întregul sistem “conducător auto – vehicul – drum”, pot exista 3 scenarii pentru procesul de depășire în raport cu vizibilitatea și accesibilitatea (pentru vehicul ce se angajează în depășire) și cu densitatea fluxului de vehicule pe sensul său de mers.

S-a semnalat faptul că în scenariul cel mai complex apare o ultimă fază, când vehiculul care execută depășirea se deplasează cu o viteză egală cu a vehiculului depășit – fază necesară pentru ca vehiculul să se integreze între vehiculul depășit și cel din fața acestuia. *Această fază nu se regăsește în modelele manevrei de depășire din literatura de specialitate, dar nu este de neglijat, deoarece spațiul și timpul necesare pentru revenire pe sensul său de mers, după ce vehiculul și-a redus viteza la cea a fluxului de vehicule de pe sensul său de mers, au valori destul de importante.* Aici discuția poate fi mai amplă, datorită acestei variații a vitezei în timpul procesului complet de depășire.

În plus, s-a relevat un aspect care nu este surprins în literatura de specialitate: cunoscuta relație în care viteza din ecuația fundamentală a traficului este o viteză medie armonică (viteză medie spațială) este valabilă doar în cazul fluxurilor de trafic (și nu în cazul

vehiculului singular) sau, mai explicit: *relația (2.38) pentru viteza medie spațială este valabilă numai atunci când se prelucrează date cu privire la debitele și vitezele fluxurilor de trafic.*

3. A fost realizată o analiză comparativă a diverselor modele utilizate în literatura de specialitate pentru diagrama fundamentală a traficului (modele uni-regim: Greenshields, Greenberg, Underwood, Northwestern; modele multi-regim: Edie, liniar-două regimuri, Greenberg modificat, liniar-trei regimuri ...), concluzionându-se că îmbunătățirea acestor modele se poate realiza numai prin luarea în considerație a modelelor de urmărire ale vehiculelor, ceea ce presupune modelarea la nivel microscopic a fluxurilor rutiere.

Având în vedere faptul că de mare interes practic este modelarea relației dintre densitate și viteză pentru a identifica condițiile în care se poate obține un debit maxim, s-a realizat o analiză detaliată a cazurilor celor mai interesante pentru obținerea unui volum maxim de trafic (care să asigure eficiență ridicată pentru infrastructura rutieră), la viteze de operare ridicate (care să asigure utilizarea economică a vehiculelor), în condiții de siguranță.

Astfel, s-a demonstrat că pentru obținerea unui volum maxim de trafic este necesar să se asigure condiții pentru menținerea unei distanțe minime între vehicule, iar acest lucru se obține doar în cazul unui *trafic omogen* (când vehiculele sunt de aceeași categorie, deci au performanțe dinamice și de frânare similare).

Pentru acest caz (ce poate fi întâlnit pe drumurile unde este restricționat accesul vehiculelor mari sau pe autostrăzi cu mai multe benzi de circulație pe sens, unde traficul se stratifică pe benzi în mod natural), se concluzionează că singurul factor care face diferența în ceea ce privește distanța necesară între vehicule este comportamentul conducătorilor auto, prin timpul de reacție.

Pentru cazul *traficului neomogen* (cu structură compozită de vehicule, ce au posibilități de accelerare și decelerare sensibil diferite), frecvent întâlnit în țara noastră datorită deficitului de autostrăzi, modelul matematic prin care s-a descris intervalul minim dintre vehicule a fost dezvoltat pe baza relației ce descrie intervalul minim dintre vehicule având în vedere și diferența dintre modurile de frânare ale vehiculelor din fluxul rutier (decelerații diferite).

Astfel, valoarea pentru distanța minimă dintre două vehicule succesive a fost definită în funcție de parametri ce definesc mișcările celor două vehicule (viteza, timpul de reacție al conducătorului auto, decelerațiile celor două vehicule și spațiul de siguranță) și s-a ajuns, în final, să se expliciteze volumul maxim de trafic în funcție de o mărime ce conține decelerațiile celor două vehicule, ceea ce a determinat propunerea de utilizare a acestei mărimi ca *un nou termen în teoria traficului rutier*: C = coeficient ce exprimă variabilitatea decelerațiilor la frânare pentru vehiculele din fluxul compozit continuu [Boroiu A-A, 2015], acest coeficient având ca echivalent inversul decelerației: $C [1/(m/s^2)]$.

Aceasta a permis să se constate că în condițiile unui trafic neomogen (când C are valori nenule) volumul traficului crește numai până la o anumită valoare a vitezei (cu atât mai mică cu cât mai neomogen este traficul), după care scade, în timp ce pentru cazul traficului omogen ($C = 0$), volumul de trafic continuă să crească permanent cu viteza, creșterea estompându-se însă la valorile mari, când volumul traficului tinde asimptotic la o valoare limită ce depinde de valoarea timpului de reacție al conducătorilor auto.

4. S-a relevat interesul pentru următoarea întrebare: *este posibil ca pentru o intersecție în sens giratoriu, pe baza valorilor măsurate cu observatori ficși pentru fluxurile de intrare, fluxurile de ieșire și fluxurile de conflict, să se determine volumul curenților de trafic?*

S-a analizat această problemă, pentru a descoperi dacă este rezolvabilă, începând cu cea mai simplă intersecție în sens giratoriu - cea cu 3 brațe. Analiza sistemelor de ecuații prin calcule matriciale efectuate cu programul Matlab și cu programul Microsoft Excel au condus la concluzia: *pentru intersecțiile cu 3 brațe și cu fluxuri de întoarcere și pentru*

intersecțiile cu 4 brațe fără fluxuri de întoarcere este posibil să se cunoască complet curenții de trafic pe baza fluxurilor măsurate cu observatori ficși (care să includă obligatoriu fluxurile de viraj la dreapta).

5. Pentru fiecare din cele două cazuri ce s-au dovedit rezolvabile pe baza datelor măsurate cu observatori ficși, pe baza celor două seturi de relații analitice obținute s-au realizat două program de calcul în limbajul de programare Java, cu interfețe foarte accesibile.

Pentru a veni în întâmpinarea oricărei necesități, programele funcționează și în cazul când sunt necesare doar rezultate parțiale (situație când se măsoară numai fluxurile necesare).

6. Utilizând programul cu relațiile de calcul pentru cazul intersecției cu 3 brațe și cu fluxuri de întoarcere pentru intersecția în sens giratoriu Calea București – Calea Bascovului din Pitești, a putut fi determinată mărimea fluxului de întoarcere de pe brațul Est, ce a permis formularea de previziuni cu privire la modul în care se va desfășura circulația rutieră în intersecție după ce se va da în funcțiune artera rutieră ce supratraversează Calea București din municipiul Pitești – previziuni ce au fost confirmate de noile măsurători realizate.

Acest rezultat, ce a putut fi obținut pe cale analitică cu ajutorul formulelor originale descoperite, a relevat necesitatea continuării analizei în scopul organizării circulației în zona intersecției în sens giratoriu astfel încât să dispară fenomenul de congestie pe brațul Nord.

Propunerile ce rezultă pentru reglementarea circulației rutiere în urma acestor măsurători sunt: reconfigurarea insulei centrale din intersecție astfel încât accesul autovehiculelor să fie temporizat, delimitarea benzilor de circulație pe calea circulară din intersecția în sens giratoriu prin marcaje longitudinale continue și/sau discontinue și presemnalizarea direcțiilor de mers pe calea circulară, astfel încât circulația autovehiculelor în intersecția în sens giratoriu să se apropie cât mai mult de dezideratul “posibilități egale de acces în intersecție de pe toate brațele sau valori egale pentru timpii de așteptare pe brațele intersecției”.

Astfel, *determinarea volumelor curenților de trafic din intersecția în sens giratoriu este singurul element pe baza căruia se va putea continua analiza de trafic pentru a se formula propuneri de reorganizare a circulației în zona intersecției, astfel încât nivelul de serviciu al acesteia să se îmbunătățească.*

7. Continuând explorarea teoretică a problemei, s-a constatat că este posibilă realizarea unui program de calcul și pentru situația mai complexă în care se ia în calcul factorul orar de vârf PHF (Peak Hour Factor) și au fost realizate două programe de calcul în Microsoft Excel, mărimile de ieșire fiind volumele curenților de trafic corectate în funcție de valorile factorului orar de vârf PHF.

8. A fost realizat un studiu de trafic ce a avut drept scop evaluarea oportunității transformării intersecției E 574 - DN 73D, având circulația reglementată prin semne de cedare a priorității, într-o intersecție în sens giratoriu, ce a condus la concluzia generală că intersecțiile în sens giratoriu permit o mai bună preluare a vârfurilor de trafic ce apar pe unul din brațele intersecției.

Aceste rezultate obținute susțin *necesitatea organizării circulației în sens giratoriu pentru intersecțiile cu variații mari ale traficului pe unul din brațe.*

9. Cea mai utilizată metodă pentru validarea modelelor de trafic se bazează pe indicatorul GEH statistic, definit printr-o relație matematică relativ simplă, dar care este puțin perceptibil și ale cărei valori limită stabilite pentru validarea modelelor de trafic ($GEH = 5$ sau $GEH = 10$) sunt puțin relevante.

Ca urmare, s-a realizat o prezentare mult mai perceptibilă a indicatorului GEH, prin evidențierea corelației dintre indicatorul GEH și abaterea procentuală $x[\%]$ dintre volumul de trafic estimat și volumul de trafic măsurat.

Cap. 3. ZGOMOTUL RUTIER. CONCEPTE, FACTORI DETERMINANȚI ȘI PRINCIPII DE EVALUARE

3.1. Percepția zgomotului rutier

Senzația auditivă reprezintă un fenomen subiectiv, sunetul fiind perceput divers de către diferiți oameni [Vasile, 2013]. Din această cauză a fost introdusă noțiunea de *ascultător otologic normal*, ascultătorul fiind reprezentat de un om cu vârsta de 18-25 ani, cu auz normal și fără afecțiuni ale organului auditiv.

La un astfel de ascultător, urechea percepe doar sunetele din intervalul de frecvențe 16 ...16.000 Hz, nu și sunetele cu o frecvență mai mică de 16 Hz (numite *infrasunete*) și cele cu o frecvență mai mare de 16.000 Hz (*ultrasunetele*).

Aceste constatări s-au obținut în urma unor experiențe fundamentale realizate special în scopul înțelegerii senzației de percepție a sunetelor, prezentate în continuare.

Tăria sonoră reprezintă intensitatea subiectivă a sunetelor. Experimentele au arătat că senzația auditivă de intensitate este aproape în întregime determinată de nivelul presiunii acustice, astfel ca se poate considera că mărimii de excitare (care este presiunea acustică, exprimată prin nivelul său, în decibeli), îi corespunde mărimea de senzație (care este tăria sonoră).

În scopul stabilirii unei scări de senzație pentru tăria sonoră s-au făcut o serie de studii psiho-acustice asupra unor populații statistice de subiecți otologic normali, obținându-se *curbe de egală tărie sonoră* sau *curbe izosonice*, acestea reprezentând nivelul de presiune acustică în funcție de frecvența sunetului pur ce dă urechii umane aceeași senzație de intensitate. Sunt recomandate de normele internaționale curbele obținute în anul 1956 de Robinson și Dadson, cunoscute sub numele de "*curbe izosonice normalizate*" – fig. 3.2.

Pentru exprimarea *nivelului de izofonie* se utilizează ca unitate de măsură *fonul*. Nivelul senzației acustice pe scara fonilor coincide cu nivelul de zgomot pe scara decibelilor doar pentru frecvența de 1000 Hz (această frecvență a fost luată ca bază în cadrul experimentelor - la frecvența de 1000 Hz s-a considerat senzația de intensitate egală cu intensitatea acustică emisă).

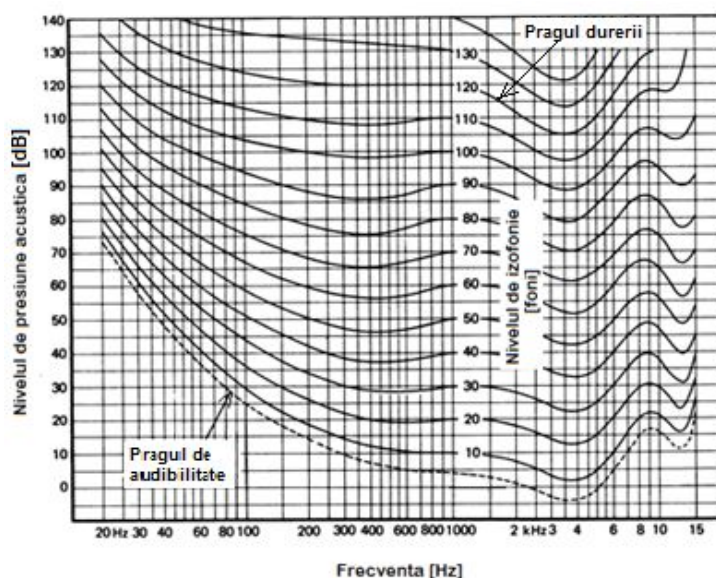


Fig. 3.2. Curbele izosonice normalizate Robinson-Dadson [[<http://www.heilsound.com>]].

Ca urmare, evaluarea nivelului de zgomot perceput se realizează prin metode mai simple, bazate pe algoritmi algebrici, adoptând metoda în funcție de nivelul general de tărie al zgomotului (curbe de ponderare standardizate: A, B, C sau D) și ținând cont doar de valorile medii ale intensității acustice pe intervale de frecvență (de regulă, se împarte domeniul de frecvență în octave) și ponderând aceste valori prin corecții prestabilite pentru metoda respectivă – fig. 3.4 [OSHA Technical Manual – Noise – Appendix B, 2016].

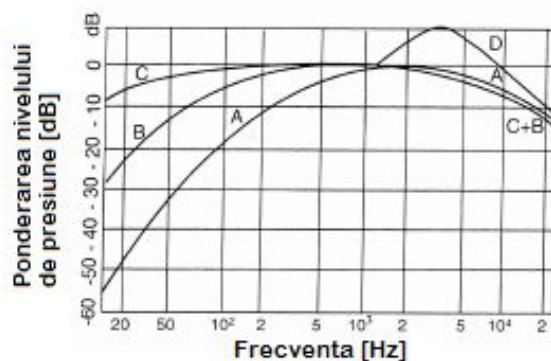


Fig. 3.4. Curbe normate de ponderare pentru evaluarea intensității acustice.
[OSHA Technical Manual – Noise, 2016].

3.2. Mărimi acustice

Principalele mărimi acustice ce se regăsesc în definirea indicatorilor pentru zgomotul ambiental, între care se regăsește și zgomotul rutier, sunt: *presiunea acustică*, *intensitatea sonoră*, *puterea acustică*.

3.2.6. Nivelul de putere acustică emisă

Emisia acustică poate fi evaluată pentru o sursă individuală (cazul unui vehicul solitar) sau pentru un șir de vehicule [Leclercq, 2002].

a) Pe un vehicul (La_w)

Pentru a caracteriza emisia unei surse de zgomot, cum este cazul unui autovehicul, se utilizează *nivelul de putere acustică*.

Vehiculul este considerat o sursă punctuală omnidirecțională (transmite zgomot în toate direcțiile) într-un demispațiu (o jumătate de sferă). Principalele surse de zgomot ce determină emisia de zgomot rutier sunt: grupul motopropulsor, contactul pneu-cale de rulare, contactul caroserie – aer (zgomot aerodinamic), plus diverse sisteme ale motorului sau ale autovehiculului, cum ar fi sistemul de răcire, sistemul de climatizare, etc. - fig. 3.7.

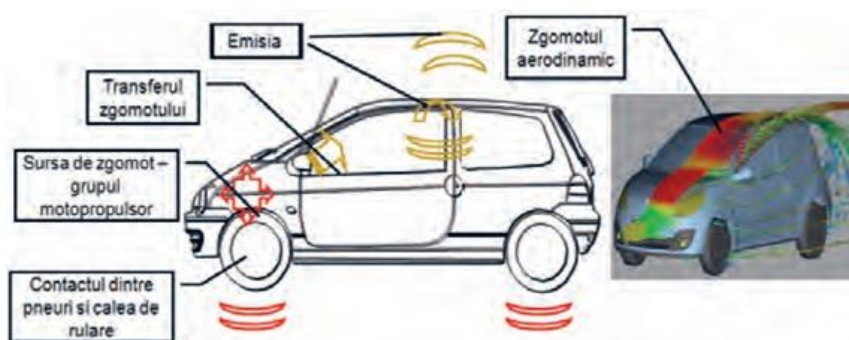


Fig. 3.7. Principalele surse de zgomot rutier [adaptare după <http://www.bruitparif.fr>].

În această ipoteză, puterea acustică a autovehiculului individual w_{ind} și presiunea acustică eficace p_{ef} primită la o distanță d față de sursă sunt legate, neglijând absorbția sunetului în aer, prin relația:

$$w_{ind} = \frac{p_{ef}}{\rho_0 \cdot c} \cdot \pi d^2, \quad (3.12)$$

unde:

- ρ_0 = densitatea aerului în repaus (1,205 kg/m³ la 20°C);
- c = viteza sunetului în aer (343,4 m/s la 20°C).

Nivelul de putere acustică LA_w [dB(A)] se exprimă prin relația similară cu (3.7):

$$LA_w = 10 \cdot \log \frac{w_{ind}}{w_0}, \quad (3.13)$$

unde: w_0 = puterea acustică de referință, egală cu 10^{-12} Watt.

b). Pe unitatea de lungime a căii, $(LA_w)_m$ sau LA_w

Un șir de vehicule care circulă pe o arteră rutieră poate fi asimilat cu o sursă de emisie cu condiția ca scara timpului la care zgomotul este studiat să fie suficient de mare față de inversul debitului (intervalul de timp dintre două vehicule successive) sau ca distanța de la care sursele de zgomot sunt observate să fie suficient de mare în raport cu interdistanța dintre vehicule [Leclercq, 2002].

Rețeaua rutieră studiată este descompusă în diferite linii-sursă omogene, caracterizate prin nivelul de putere pe metru, $(LA_w)_m$ – *densitatea lineică a nivelului de putere acustică*. Această mărime se notează și cu LA_w . Ea caracterizează emisia unei linii-sursă omogene (pe metru lungime) în raport cu nivelul de putere acustică al unui vehicul LA_w .

Pentru un șir de vehicule de același tip, care au aceeași putere acustică LA_w [dB(A)/veh], rulând cu viteza V [m/s] într-un flux rutier având debitul Q [veh/h], nivelul de putere acustică pe unitatea de lungime LA_w [dB(A)/m] va fi:

$$LA_w \equiv LA(K \cdot w_{ind}) = LA\left(\frac{Q}{V} \cdot w_{ind}\right) = LA_w + 10 \cdot \lg \frac{Q}{V} [dB], \quad (3.15)$$

deoarece

$$W = K \cdot w_{ind} = \frac{Q}{V} \cdot w_{ind}, \quad (3.16)$$

unde:

- w_{ind} sau w = puterea acustică a unui vehicul [dB(A)/veh];
- W = puterea acustică lineică a fluxului de vehicule [dB(A)/m];
- K = densitatea traficului [veh]/m].

Cumulând nivelurile de putere acustică ale diferitelor categorii de autovehicule pentru un tronson dat, este posibil să se calculeze puterea acustică a fluxului de circulație pe unitatea de lungime a drumului.

3.3. Poluarea fonică rutieră

Pentru zonele rezidențiale se constată că principala sursă de zgomot o reprezintă traficul rutier, astfel încât există preocupări susținute pentru reducerea zgomotului rutier – atât la sursă (zgomotul emis) cât și la receptor (zgomotul imis).

În ceea ce privește zgomotul emis de un autovehicul singular, acesta este determinat de funcționarea autovehiculului, de contactul acestuia cu aerul și cu calea de rulare, astfel încât reducerea zgomotului emis (reducerea zgomotului la sursă) constituie o preocupare pentru constructorii de autovehicule și pentru constructorii de drumuri.

Zgomotul emis de fluxurile de vehicule este rezultatul cumulării zgomotului emis de autovehiculele individuale, deci menținerea zgomotului produs de traficul rutier în limitele legale necesită organizarea circulației rutiere astfel încât să se obțină valori ale caracteristicilor fluxurilor rutiere (volum, densitate, viteză) pentru care zgomotul rutier să fie

ținut sub control. Aceasta este preocuparea specialiștilor în trafic rutier, care propun administrațiilor locale soluții de organizare și reglementare a circulației rutiere.

Zgomotul rutier care este receptat de oameni (în calitate de pietoni sau locatari) și care se constituie în poluare fonică dacă are un nivel peste limitele psihoacustice, este zgomotul imis: cea parte din zgomotul emis care se propagă prin mediul înconjurător și ajunge la receptor.

Zgomotul emis de autovehicule se propagă în mediul înconjurător ajungând la receptor (pieton pe trotuar, persoane în parc sau locatari în clădirile din apropierea străzilor) fie în mod direct (prin unde incidente emise de sursă), fie în mod indirect (prin unde reflectate de teren sau de clădiri, prin unde ce au suferit un proces de difracție în jurul obstacolelor subțiri sau prin transmitere parțială după ce au fost absorbite parțial de obstacole) – fig. 3.9.

În mediul urban, modul de propagare a zgomotului produs de traficul rutier este dependent de configurația urbanistică din zona arterelor de circulație rutieră.

Astfel, din acest punct de vedere există următoarele 3 categorii principale pentru structura străzilor [Minchevici, 2007]:

- *străzi în structură liberă*, care nu au construcții sau alte elemente reflectante pe niciuna din laturi;
- *străzi în secțiune tip L*, care au pe margine construcții dar numai pe o singură parte;
- *străzi în secțiune tip U*, care au pe ambele laturi construcții.

În funcție de poziția receptorului față de sursă și de configurația urbanistică a zonei, zgomotul perceput de receptor se va compune din unde incidente și unde reflectate sau numai din unde incidente (fig. 3.10).

Astfel, în cazul unei străzi de tip deschis, zgomotul se va compune numai din unde incidente, în cazul unei străzi în L zgomotul se compune și din unde incidente și din unde reflectate, iar în cazul unei străzi în U apar unde reflectate de mai multe ori.

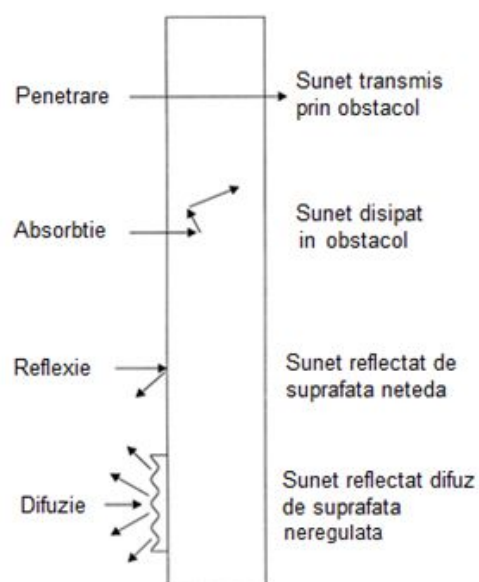


Fig. 3.9. Propagare zgomot rutier: penetrare, absorbție, reflexie, difuzie.

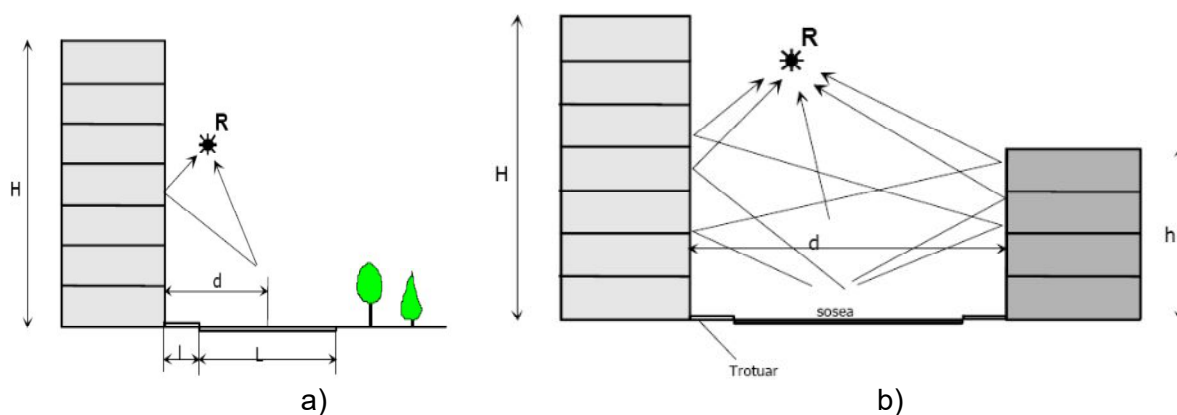


Fig. 3.10. Zgomotul perceput de receptor pentru diferite tipuri de străzi [Minchevici, 2007].
a) – stradă de tip L; b) – stradă de tip U.

3.4. Indicatori și valori-limită pentru nivelul de zgomot

Pentru evaluarea poluării fonice, a fost necesară stabilirea unor metode comune la nivelul Uniunii Europene pentru evaluarea „zgomotului ambiental” și definirea „valorilor limită”, în baza indicatorilor armonizați pentru determinarea nivelelor de zgomot.

Indicatorii de zgomot comuni selectați sunt *Nivelul de zgomot pentru zi-seară-noapte*, L_{zsn} , pentru a arăta disconfortul, și *Nivelul de zgomot pentru noapte*, L_n , pentru a evalua perturbarea somnului. S-a considerat util, de asemenea, să se permită Statelor Membre să folosească indicatori suplimentari pentru a monitoriza sau controla situațiile speciale referitoare la zgomot.

Nivelul indicatorului ziua-seară-noapte (L_{zsn}), în decibeli (dBA), este un nivel de zgomot echivalent (L_{eq}), calculat cu următoarea formulă [Directiva 49/2002/CE]:

$$L_{zsn} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{ziua}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{seara}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{noapte}+10}{10}} \right) \quad (3.17)$$

în care:

- L_{ziua} , L_{seara} și L_{noapte} reprezintă nivelul mediu de presiune acustică ponderat A pe termen lung, într-un an, pentru zi (ziua are 12 ore: 7.00 – 19.00), seară (4 ore: 19.00 – 23.00), respectiv noapte (are 8 ore: 23.00 – 07.00) – ora locală;
- A-ponderare: curba de ponderare utilizată pentru zgomotul rutier (se potrivește cel mai bine răspunsului în frecvență pentru urechea umană pentru gama de intensități și frecvențe ale zgomotului rutier), care se raportează la un nivel de 40 dB, la 1000 de Hz.

În relația de calcul este diferențiat efectul zgomotului asupra omului în funcție de perioada zilei prin penalizarea nivelului de zgomot măsurat, adăugând 5 dB pentru perioada serii și 10 dB pentru perioada nopții.

Dar dacă se dispune de mai multe date cu privire la nivelul echivalent de zgomot - fie pentru una din cele 3 perioade caracteristice ale zilei, fie pentru întreaga zi – toate aceste date disponibile pot fi luate în calcul, cu ajutorul relației analitice ce realizează agregarea valorilor disponibile pentru L_{eq} , în funcție de intervalul de timp cât s-au făcut măsurătorile:

$$L_{eq} = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \cdot 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}} \right) \quad (3.18)$$

Directiva 49/2002/CE permite statelor membre să scurteze perioada de seară cu 1 sau 2 ore, să lungească ziua sau noaptea în mod corespunzător și, de asemenea, să aleagă momentele de început ale intervalelor de timp luate în calcul [PCB Piezotronics, Inc, 2007].

În mod asemănător, în statul California (recunoscut drept cel mai exigent în ceea ce privește legislația antipoluare), seara se consideră nu de 4 ore (19:00 – 23:00), ci de numai 3 ore (19:00 – 22:00), astfel că relația de calcul pentru indicatorul L_{zsn} (notat și CNEL, abreviere de la sintagma Community Noise Equivalent Level – Nivelul echivalent de zgomot comunitar) este:

$$L_{zsn} \equiv CNEL = 10 \lg \frac{1}{24} \left(\sum_{00:00}^{07:00} 10^{\frac{L_i+10}{10}} + \sum_{07:00}^{19:00} 10^{\frac{L_i}{10}} + \sum_{19:00}^{22:00} 10^{\frac{L_i+5}{10}} + \sum_{22:00}^{24:00} 10^{\frac{L_i+10}{10}} \right) \quad (3.19)$$

Pentru cazul simplificat, când nu se ține cont de seară, este definit indicatorul de zgomot pentru zi - noapte L_{zn} [PCB Piezotronics, Inc, 2007], într-o formă ce conține explicit intervalele orare ale zilei de 24 ore:

$$L_{zn} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(\sum_{00:00}^{07:00} 10^{\frac{L_i+10}{10}} + \sum_{07:00}^{22:00} 10^{\frac{L_i}{10}} + \sum_{22:00}^{24:00} 10^{\frac{L_i+10}{10}} \right) \quad (3.20)$$

sau, mai condensat, evidențiind unitar perioada de noapte:

$$L_{zn} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(\sum_{07:00}^{22:00} 10^{\frac{L_i}{10}} + \sum_{22:00}^{07:00} 10^{\frac{L_i+10}{10}} \right), \quad (3.21)$$

Dar dacă se dispune de mai multe date cu privire la nivelul echivalent de zgomot - fie pentru una din cele 3 perioade caracteristice ale zilei, fie pentru întreaga zi – toate aceste date disponibile pot fi luate în calcul, cu ajutorul relației analitice ce realizează agregarea valorilor disponibile pentru L_{eq} , în funcție de intervalul de timp cât s-au făcut măsurătorile:

$$L_{eq} = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \cdot 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{\frac{L_{eq,i}}{10}} \right) \quad (3.22)$$

Limitele admisibile ale nivelurilor de zgomot în mediul înconjurător sunt stabilite în funcție de caracteristicile activităților în aer liber sau din clădirile din zonele funcționale respective, considerate ca protejate sau ca sursă de zgomot.

Astfel, în STAS 10009-88 – *Acustica urbană. Limite admisibile ale nivelului de zgomot* se precizează:

- Pentru străzi de categorie tehnică II, de legătură, valoarea maximă admisibilă pentru nivelul de presiune sonoră, continuu, echivalent, exterior pe străzi, măsurat la bordura trotuarului ce mărginește partea carosabilă, este de 70 dB(A).
- Pentru străzi de categorie tehnică I, magistrală, valoarea maximă admisibilă pentru nivelul de presiune sonoră, continuu, echivalent, exterior pe străzi, măsurat la bordura trotuarului ce mărginește partea carosabilă, este de 75 – 85 dB(A).
- Limitele de mai sus sunt pentru parametrul L_{eq} , adică nivelul de presiune sonoră, continuu, echivalent, ponderat A, pentru o anumită durată de referință.

În *Ordinul Ministerului Sănătății nr. 536/1997*, pentru intervalul orar 6.00 – 22.00 se impune ca limită de zgomot (nivelul de presiune sonoră continuu, echivalent, ponderat A) valoarea de 50 dB(A), iar pentru intervalul orar 22.00 – 6.00 se impune ca limită de zgomot (nivelul de presiune sonoră continuu, echivalent, ponderat A) valoarea de 40 dB(A).

3.5. Factori determinanți pentru nivelul de zgomot rutier

Este recunoscut faptul că zgomotul rutier este determinat în principal de caracteristicile constructive și funcționale ale vehiculului, de starea și caracteristicile drumului și de condițiile de trafic.

Un factor ce influențează semnificativ emisiile de zgomot este compoziția parcului de vehicule. În fig. 3.14 se poate observa evoluția crescătoare a zgomotului odată cu creșterea vitezei de deplasare, datorită atât zgomotului produs la rulare, cât și rezistenței aerodinamice, în special la deplasarea în mediul extraurban [Practitioner Handbook for Local Noise Actions Plan, 2009].

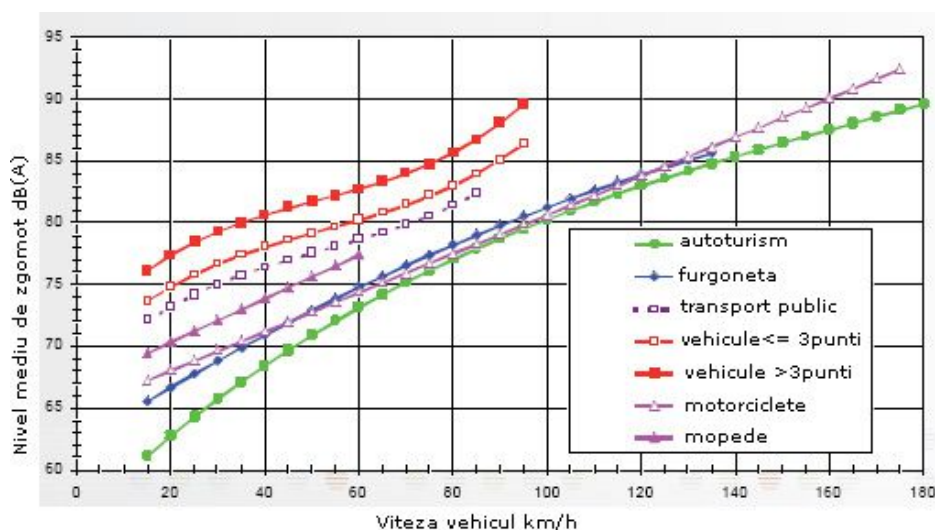


Fig. 3.14. Nivelul de zgomot funcție de viteză pe categorii de vehicule [www.silence-ip.org].

Ca urmare, posibilitățile de a reduce nivelul de zgomot sunt diferite în funcție de viteză (fig. 3.15). La viteze mici (specifice circulației urbane), ponderea cea mai importantă o reprezintă zgomotul generat de motor, iar la viteze mari (cazul circulației extraurbane), ponderea importantă o reprezintă procesul de rulare, determinat de contactul pneu-cale.

Astfel, în ceea ce privește zgomotul la viteze mici, dat fiind că predominant este zgomotul generat de motor, pentru reducerea zgomotului prezintă o importanță deosebită stilul de conducere practicat de conducătorul auto.

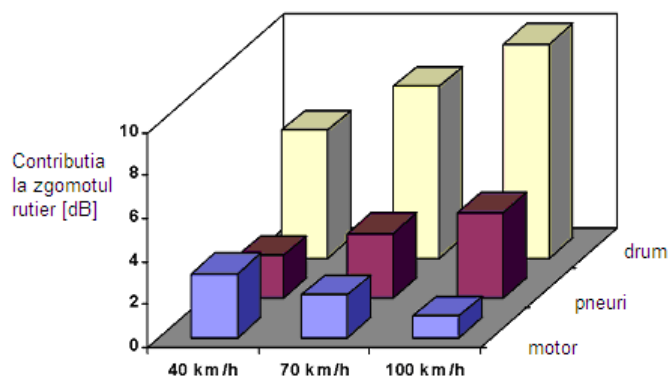


Fig. 3.15. Proportia factorilor determinanți în zgomotul rutier la diverse viteze [Timar, 2010].

Este evident că în cazul unui conducător auto care practică un stil de conducere “sportiv” – cu accelerații și decelerații mari - zgomotul produs de motor va fi mult mai mare decât în cazul unui conducător auto care practică așa-numitul stil de conducere “eco”, fără accelerații sau frânări bruște. Chiar diferențele sunt mult mai mari decât s-ar putea crede [Practitioner Handbook for Local Noise Actions Plan, 2009]: “1 autoturism cu motorul funcționând la 4000 rot/min emite un zgomot egal cu 32 de autoturisme al căror motor funcționează la 2000 rot/min”.

Acest lucru este relevant și de treapta de viteză cu care se circulă: o conducere mai puțin agresivă presupune funcționarea motorului la turații mai mici, deci nu în trepte de viteză foarte joase, așa cum rezultă și din graficul “nivel de zgomot- viteză”, având drept parametru treapta de viteză cuplată [Leclercq, 2002] – fig. 3.16.

În afara localităților însă, cum zgomotul pneu - cale de rulare devine dominant, preocupările se îndreaptă asupra procesului de rulare, determinat de cele două elemente: pneul și îmbrăcămintea drumului.

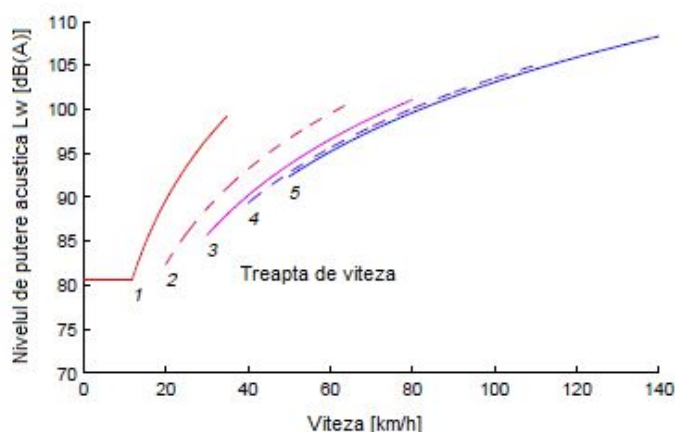


Fig. 3.16. Dependența zgomotului emis de motor de treapta de viteză cuplată.

Eforturile pentru reducerea zgomotului rutier din ultimele decenii au condus la rezultate notabile la autocamioane, dar mai mult în zona vitezelor mici (deci câștigurile s-au obținut prin realizarea unor motoare mai silențioase și prin educarea conducătorilor auto pentru practicarea unui stil de conducere fluent), în schimb la autoturisme s-a reușit reducerea zgomotului la viteze superioare, ceea ce este rezultatul reducerii zgomotului aerodinamic (prin evoluția caroseriilor spre forme cât mai fluide) și a reducerii zgomotului de rulare, prin cele două componente: pneul și suprafața drumului.

Aceste constatări sunt relevate în graficele din fig. 3.17 [Sandberg, 2001], unde rezultatele se bazează pe măsurători efectuate în Olanda în perioada 1974 -1999, în condiții normale de trafic.

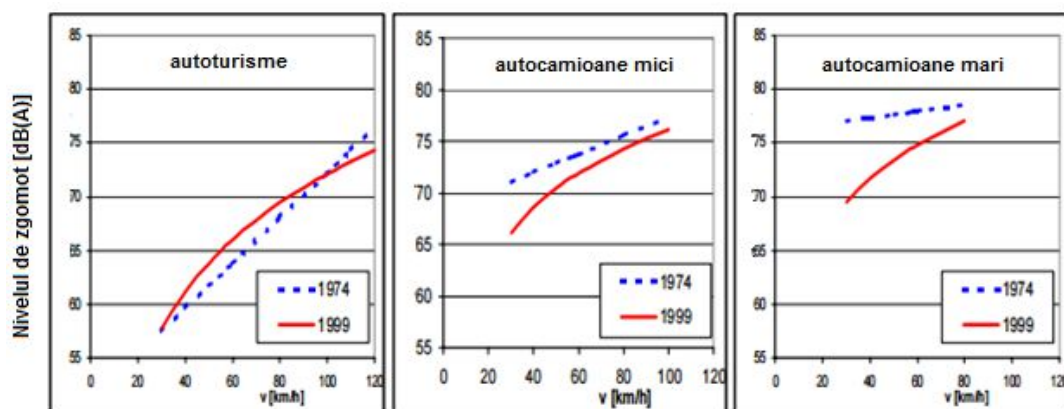


Fig. 3.17. Evoluția nivelului de zgomot emis de automobile în ultimele decenii.

În ceea ce privește pneurile, pentru a mobiliza producătorii în sensul îmbunătățirii performanțelor acestora în ceea ce privește aderența pe cale de rulare umedă, zgomotul și eficiența energetică, de câțiva ani s-a introdus obligativitatea “etichetării pneului” (fig. 3.18) în activitatea de comercializare a pneurilor.

Pentru aderență pe drumuri umede și eficiență energetică (dată de rezistența la rulare), se utilizează clase codificate cu litere și reprezentate într-o paletă de culori verde – roșu, ca la aparatele electrocasnice.

Zgomotul este reprezentat prin 3 unde sonore – unele fiind îngroșate, fiecare din ele reprezentând 3 dB. Pneurile din categoria cea mai silențioasă au o singură undă îngroșată și emit, de exemplu, un zgomot mai mic cu 3 dB față de cele cu 2 unde.

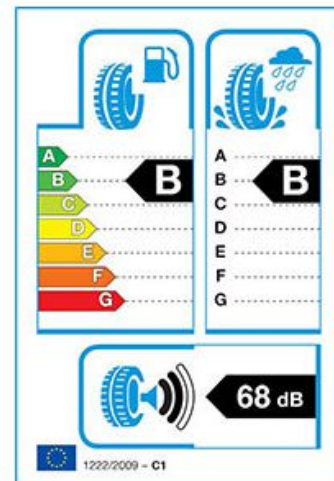


Fig. 3.18. Etichetă pneu.

Referitor la îmbrăcămintea rutieră, cercetările efectuate au condus la soluții de mixturi de asfalt poros, având granulații calculate de așa natură încât permit disiparea unei părți din zgomot în mixtura de asfalt, împiedicând însă în același timp astuparea prea rapidă a acestor spații cu praf, deoarece una din problemele importante o constituie pierderea eficienței anti-zgomot a mixturii prin uzare și îmbâcsirea cu praf și alte particule mecanice – fig. 3.19 [www.silence-ip.org].

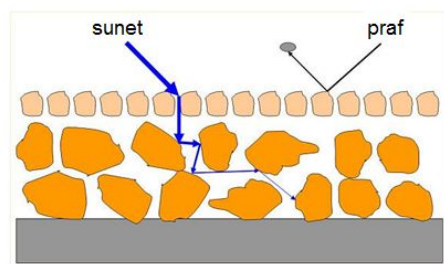


Fig. 3.19. Structura asfaltului silențios.

În funcție de grosimea și structura acestor mixturi de asfalt (există și mixturi ce încorporează elemente organice, ca cerealele sau pielea, pentru absorbția zgomotului), nivelul de zgomot emis se reduce cu 3-4 dB, dar mai există un indicator urmărit de constructori: viteza de reducere a eficacității antigzomot (fig. 3.20), care a ajuns destul de mică, de cca 0,1 ...0,2 dB/an, ceea ce face ca asfaltul silențios să fie o soluție fezabilă pentru reducerea zgomotului rutier.

O nouă preocupare în ceea ce privește zgomotul rutier există pentru autovehiculele electrice, însă în sens contrar: autovehiculele electrice sau hibride pot fi periculoase pentru pietoni, deoarece sunt silențioase și prezența lor în apropiere nu este simțită de aceștia, de aceea recent a apărut obligativitatea ca aceste autovehicule silențioase să emită un zgomot caracteristic pentru viteze sub 30 km/h. Pentru viteze mai mari nu este nevoie de un zgomot artificial, deoarece zgomotul emis prin procesul de rulare devine sesizabil.

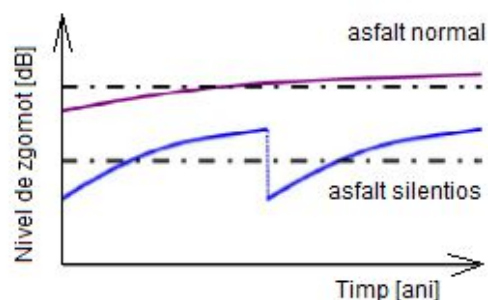


Fig. 3.20. Eficacitatea antigzomot la asfaltul silențios și asfaltul normal.

3.6. Concluzii și contribuții teoretice proprii

Cercetările teoretice cuprinse în acest capitol au permis obținerea următoarelor concluzii și contribuții teoretice proprii:

1. A fost realizată o prezentare detaliată a conceptelor de sunet pur, sunet complex și zgomot, evidențiindu-se într-un mod inedit condiția care face ca un sunet complex să fie perceput de un ascultător ca zgomot: cum domeniul de audibilitate al sunetelor pentru om este 16 – 16.000 Hz (frecvență), condiția ca prin compunerea mai multor sunete pure să se obțină un sunet complex este ca cel mai mare multiplu comun al acestora (pentru care toate frecvențele sunt divizori, deci) să fie în *domeniul de audibilitate* al omului, adică să fie perceput de acesta ca sunet [Boroiu A-A, 2016-3].

2. Pentru a prezenta principiile măsurătorilor de zgomot, au fost descrise detaliat conceptele pe care s-a bazat dezvoltarea metodelor și a echipamentelor de măsurare a zgomotului: ascultător otologic normal, curbe izosonice (de egală tărie sonoră), benzi de octavă (intervale muzicale)

S-a relevat faptul că pentru a descrie nivelul acustic perceput de om pentru un zgomot (care este o însumare de sunete) este nevoie să se realizeze o corecție a fiecărui sunet în funcție de intensitatea și de frecvența sa, ceea ce este inoperabil – teoretic, aceasta ar presupune descompunerea zgomotului în toate sunetele pure componente (nici acest lucru nu este operabil) și cumulearea acestora ținând cont pentru fiecare de intensitatea și de frecvența sa, iar cum numărul acestor sunete este, practic, infinit, ar fi necesar un calcul integral cu două variabile...

Această dificultate matematică este însă depășită prin utilizarea unor metode mai simple, adoptând metoda în funcție de nivelul general de tărie al zgomotului (scări de ponderare A, B, C sau D) și ținând cont doar de valorile medii ale intensității acustice pe intervale de frecvență, ce sunt ponderate prin corecții prestabilite pentru metoda respectivă.

S-a evidențiat astfel faptul că printr-o anumită metodă se aplică o anumită corecție doar în funcție de variabila ce influențează mai mult percepția sunetului (frecvența), iar calculul este simplificat prin discretizarea domeniului de valori în intervale, de regulă în octave.

3. S-a evidențiat faptul că, deși zgomotul este rezultatul cumulării zgomotelor produse de sursele individuale, el poate fi evaluat fie considerând sursele individuale drept surse punctiforme (cazul autovehiculului singular – când densitatea traficului rutier este

foarte mică) fie considerând fluxurile rutiere drept surse-linie (când densitatea traficului este mare și distanța până la receptor este mare).

Această a doua abordare poate fi aplicată cu o precizie mai mare dacă se procedează la discretizarea sursei lineice în tronsoane rutiere cu niveluri de zgomot diferite. Pentru aceasta se utilizează o mărime echivalentă cu nivelul de putere acustică pe metru – *densitatea lineică a nivelului de putere acustică*.

Concluzia care rezultă este că pentru pietoni (situați pe trotuar, în imediata apropiere a fluxului rutier), este recomandabil ca zgomotul să fie modelat în raport cu puterea de emisie fonică a vehiculelor individuale, iar pentru locatari (situați la distanță destul de mare de sursa de zgomot), zgomotul să fie modelat în raport cu *densitatea lineică a nivelului de putere acustică, eventual discretizată pentru câteva tronsoane rutiere*.

4. Poluarea fonică rutieră constă, de fapt, în zgomotul rutier receptat (zgomotul imis), dar este produsă de traficul rutier (zgomot emis), astfel că de mare importanță este predicția imisiei de zgomot prin modelarea matematică a zgomotului în funcție de caracteristicile traficului rutier și ale mediului în care se propagă.

Dar această modelare abordează diversele procese prin care zgomotul rutier este produs, propagat și receptat, fiind absolut necesară intervenția specialiștilor în zgomot - alături de specialiștii în construcția de autovehicule, în construcția de drumuri, de inginerii de trafic sau de urbanisți.

Pentru reducerea zgomotului rutier se acționează simultan pe două căi: prin măsuri active, la sursă, astfel încât zgomotul emis să se reducă (aici se regăsește și organizarea circulației rutiere), respectiv prin măsuri pasive, ce urmăresc reducerea zgomotului imis, cel care ajunge la receptor, iar acest lucru se realizează prin amenajări urbanistice ce se constituie în bariere fonice.

Cap. 4. MODELE DE PREDICȚIE A ZGOMOTULUI ÎN FUNCȚIE DE TRAFICUL RUTIER

4.1. Introducere

Nivelul de zgomot poate fi determinat prin măsurarea efectivă a acestuia sau poate fi calculat prin modele matematice adecvate, în funcție de caracteristicile traficului rutier și de mediul de propagare a zgomotului de la sursă la receptor - *modele de predicție a zgomotului în funcție de traficul rutier*.

Zgomotul emis de un autovehicul staționar este produs doar de autovehiculul însuși, dar pentru un autovehicul în mișcare el este rezultatul a 3 componente: zgomotul de funcționare al autovehiculului, zgomotul de rulare (produs de interacțiunea dintre autovehicul și calea de rulare) și zgomotul aerodinamic (produs de interacțiunea dintre autovehicul și aerul atmosferic). Toate aceste trei componente sunt rezultatul direct al traficului rutier - caracteristicile vehiculelor, structura traficului, viteza, debitul traficului, îmbrăcămintea drumului, condițiile meteorologice ...

Zgomotul perceput de receptor este *zgomotul imis*. Legătura între emisia de zgomot și imisia de zgomot se exprimă pe baza legilor de propagare a sunetului în aer. Ca urmare, zgomotul rutier poate fi exprimat în funcție de traficul rutier, ținând cont de mediul de propagare.

De regulă modelele matematice de predicție a zgomotului rutier iau în calcul fluxurile de trafic – pentru vehicule ușoare și pentru vehicule grele, caracteristicile suprafeței drumului și distanța dintre drum și receptor.

Mai multe modele au fost dezvoltate în întreaga lume, acestea luând în calcul particularitățile diferitelor țări - în ceea ce privește drumurile, parcul auto și clima.

4.2. Modele statistice

Primele încercări pentru a realiza predicția zgomotului au fost făcute în anii '50 [Quartieri, 2008], în principal prin evaluarea cuantilei de 50% a nivelului de zgomot, L_{50} [dB], definită ca nivelul de zgomot depășit în 50% din perioada de măsurare.

Aceste modele consideră fluxurile de trafic rutier drept fluxuri fluide continue, cu o viteză comună pentru toate vehiculele (viteza fluxului) și fără a face distincție între diversele tipuri de vehicule.

Unul dintre primele modele, dezvoltat în 1952 în SUA, deci în sistemul de măsuri și unități anglo-saxon, este prezentat în ***Handbook of Acoustic Noise Control [HANC, 1952]***. În acest model, cuantila de 50% a nivelului de zgomot, L_{50} , pentru viteza fluxului de vehicule de 35-45 mph (ceea ce echivalează cu 55-75 km/h) și distanțe mai mari de 20 feet (cca 6 m) este dată de relația:

$$L_{50} = 68 + 8,5 \log(Q) - 20 \log(d) \quad (4.1)$$

unde Q este volumul traficului [vehicule/oră] și d [feet] este distanța de la punctul de observație la axa curentului de trafic. Se observă că nu se ține cont de tipul vehiculelor sau de tipul drumului.

În anii '60, **Nickson ș.a.** propun un nou model, în care apare un parametru ce permite calibrarea modelului pe baza unui eșantion de date experimentale prelevate:

$$L_{50} = C + 10 \log\left(\frac{Q}{d}\right) \quad (4.2)$$

unde C este o constantă ce poate fi evaluată realizând o analiză a datelor experimentale.

Mai târziu, în 1968, **Johnson** ș.a. prezintă un nou model de zgomot rutier, ce ia în calcul (în afară de volumul traficului Q și distanța d) și viteza medie a vehiculelor, v [mph]:

$$L_{50} = 3,5 + 10 \log \left(\frac{Q \cdot v^3}{d} \right) \quad (4.3)$$

Modelul prezintă factori de corecție pentru atenuarea datorată solului și pentru înclinarea acestuia.

În 1969 **Galloway** ș.a. îmbunătățesc acest model luând în considerare și procentul vehiculelor grele P , expresia analitică pentru indicatorul L_{50} [dBA] fiind:

$$L_{50} = 20 + 10 \log \left(\frac{Q \cdot v^3}{d} \right) + 0,4P, \quad (4.4)$$

unde $P = 0 \dots 100$.

Modelele dezvoltate în următorii ani au introdus un nivel echivalent L_{eq} ca indicator al nivelului de zgomot (în calculul acestui indicator se ponderează valorile din perioada de înregistrare). Unul dintre cele mai utilizate este modelul **Burgess**, aplicat pentru prima dată în metropola Sydney din Australia. Utilizând aceleași notații ca în modelele anterioare, nivelul echivalent de zgomot este dat de relația:

$$L_{eq} = 55,5 + 10,2 \log(Q) + 0,3P - 19,3 \log(d) \quad (4.5)$$

O altă relație foarte des utilizată pentru L_{eq} este cea numită "**Griffiths and Langdon Method**", calculat doar pe baza cuantilelor nivelului de zgomot L :

$$L_{eq} = L_{50} + 0,018 \cdot (L_{10} - L_{90})^2 \quad (4.6)$$

unde cuantilele sunt determinate în funcție de mărimile Q , P și d (acestea având aceeași semnificație ca în relațiile anterioare), cu relațiile:

$$\begin{aligned} L_{10} &= 61 + 8,4 \log(Q) + 0,15P - 11,5 \log(d) \\ L_{50} &= 44,8 + 10,8 \log(Q) + 0,12P - 9,6 \log(d) \\ L_{90} &= 39,1 + 10,5 \log(Q) + 0,06P - 9,3 \log(d) \end{aligned} \quad (4.7)$$

Un alt model a fost formulat de către "**Centre Scientifique et Technique du Bâtiment**" din Franța (modelul CSTB), care propune determinarea nivelului echivalent de zgomot doar pe baza cuantilei de 50% a nivelului de zgomot, cu relația:

$$L_{eq} = 0,65L_{50} + 28,8 \quad (4.9)$$

unde L_{50} [dBA] este determinat luând în calcul fluxul de vehicule echivalente Q_{eq} , cu relații diverse.

Încercând agregarea tuturor acestor modele într-o expresie generală, în care să se regăsească oricare dintre ele prin particularizare, se ajunge la expresia generală a nivelului echivalent calculat în conformitate cu modelul statistic de zgomot de trafic dat de relația [Quartieri, 2010]:

$$L_{eq} = A \cdot \log Q \left[1 + \frac{P}{100} (n - 1) \right] + B \cdot \log(d) + C, \quad (4.12)$$

unde Q , P și d au semnificațiile cunoscute, iar A , B și C sunt constante prin care se particularizează fiecare model.

În ceea ce privește expresia din paranteza dreaptă, prin ea se ține cont de proporția vehiculelor grele P , deoarece acestea emit un zgomot mai puternic decât cele ușoare, raportul între nivelul de zgomot datorat unui vehicul greu și cel datorat unui vehicul ușor fiind n , numit *echivalent acustic al vehiculelor, grele*.

Ca urmare, poate fi definit un flux echivalent de trafic din punct de vedere al zgomotului, conform relației:

$$Q_{eq} = Q \left[1 + \frac{P}{100}(n - 1) \right], \quad (4.13)$$

unde Q este fluxul de vehicule (numărul total de vehicule, indiferent de tipul lor), P este proporția vehiculelor grele, iar n este echivalentul acustic al vehiculelor grele.

Coeficienții A, B și C pot fi obținuți, pentru o zonă de investigare stabilită, prin metode de regresie liniară, pe baza diferitelor valori ale nivelului echivalent de zgomot L_{eq} determinat pentru diferite fluxuri de trafic (Q, P) și distanțe (d).

Echivalentul acustic al vehiculelor grele (definit ca numărul de vehicule ușoare care generează o energie acustică egală cu cea generată de un singur vehicul greu) poate fi estimat atât prin metode de regresie cât și prin măsurători efectuate pentru emisia fonică a unui singur vehicul. La fel se poate proceda pentru a estima echivalentul acustic și al altor categorii de vehicule, ca motocicleturi, autobuze, etc.

4.3. Modele cu caracter de standard național

Multe țări au realizat studii în scopul adoptării la nivel național a unei metodologii sau proceduri de evaluare a zgomotului rutier. În cadrul acestor normative naționale de evaluare a zgomotului rutier au fost integrate și modele de predicție a zgomotului în funcție de traficul rutier, care de cele mai multe ori au un caracter de originalitate, deoarece urmăresc specificul țării în ceea ce privește factorii determinanți pentru emisia și propagarea zgomotului rutier.

Cele mai recunoscute modele sunt cele elaborate în țările cu preocupări deosebite în domeniu, acestea fiind preluate și de alte țări cu condiții de trafic asemănătoare.

Aceste modele matematice de estimare a zgomotului rutier se regăsesc ca module distincte (și opționale) în programele de calcul specializate în modelarea traficului rutier.

4.3.1. Modelul german: RLS 90 (1990)

În Germania, procedurile ce trebuie urmate pentru previzionarea zgomotului produs de traficul rutier sunt grupate în *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS 90* (Directive pentru protecția împotriva zgomotului rutier), ce conține un model care reprezintă o îmbunătățire a precedentului model, RLS 81.

Ideea de bază a acestor directive este de a defini condițiile normalizate de circulație a vehiculelor pentru care se determină emisia acustică, apoi de a aplica un ansamblu de corecții valorii rezultate în funcție de abaterile de la aceste condiții normalizate, rezultând valoarea finală pentru nivelul de zgomot estimat prin modelare.

Modelul RLS 90 este un model de calcul efectiv, capabil să determine nivelul de zgomot rutier și reprezintă, la momentul actual, cea mai utilizată metodă de calcul în Germania. Acesta este modelul care se regăsește în softul Visum, produs de firma PTV AG din Karlsruhe, foarte întâlnit și în România.

Acest model nu utilizează direct variabile explicative pentru cinematica vehiculului. El are ca date de intrare fluxul orar de trafic mediu (precizat distinct pentru motocicleturi, vehicule ușoare, vehicule grele), viteza medie pentru fiecare categorie de vehicule, geometria și tipul drumului și ale eventualelor obstacole pentru zgomot – naturale sau artificiale.

Acest model ia în calcul principalii factori care influențează propagarea zgomotului, cum sunt obstacolele, vegetația, absorbția în aer, reflexia și difracția. În particular el permite să se verifice reducerea zgomotului produsă de barierele fonice și ia în calcul, de asemenea, reflexia produsă de ecrane opuse. În plus, acesta este una dintre puținele modele prezente

în literatura de specialitate care este capabil să evalueze emisia de zgomot rutier (zgomotul la sursă, nu numai la receptor).

Punctul de plecare al calculului este un nivel de referință – nivelul mediu de zgomot L_m^{25} ce corespunde unui nivel echivalent de zgomot LA_{eq} calculat în interval de o oră la o distanță de 25 m de centrul benzii de rulare a drumului, în funcție de volumul orar de trafic Q și de proporția vehiculelor grele P (cu masa maximă autorizată de peste 2,8 tone), pentru condiții idealizate: o viteză maximă autorizată de 100 km/h, o înclinare longitudinală a drumului ce nu depășește $\pm 5\%$ și o anumită suprafață a căii de rulare:

$$L_{m,E}^{25} = 37,3 + 10 \log [Q(1 + 0,082P)] \quad (4.14)$$

Plecând de la acest nivel echivalent de zgomot ce corespunde condițiilor standard (acesta este un nivel de referință, precăscut), se vor aplica o serie de corecții care țin cont de abaterile de la aceste condiții standard în condițiile reale: viteza maximă autorizată (D_V), tipul îmbrăcămînții drumului (D_{Stro}) și înclinarea drumului (D_{Stg}). Pentru fiecare bandă de circulație va rezulta nivelul de zgomot:

$$L_{m,E} = L_{m,E}^{25} + D_V + D_{Stro} + D_{Stg} \quad (4.15)$$

În afara celor 3 corecții (care sunt și cele utilizate de softul Visum), pot să mai existe și alte corecții, în funcție de: caracteristicile de absorbție ale suprafețelor clădirilor; coeficientul de atenuare care ia în calcul distanța până la receptor și absorbția aerului; coeficientul de atenuare datorat solului și condițiilor atmosferice; topografia terenului și dimensiunile clădirilor. Valorile acestor corecții pot diferi după cum măsurătorile sunt realizate ziua (6.00 – 22.00) sau noaptea (22.00 – 6.00).

O altă corecție este utilizată pentru a ține cont de eventuala existență a unei intersecții semaforizate în apropiere (fiind recunoscut faptul că acest tip de intersecție contribuie la creșterea nivelului de zgomot).

4.3.2. Modelul francez: NMPB Routes (2008)

Directiva 49/2002 a Parlamentului European, referitoare la evaluarea și managementul zgomotului ambiental, recomandă ca pentru previzionarea zgomotului rutier să se utilizeze modelul francez “Nouvelle Methode de Prevision de Bruit – Routes ‘96”, realizat în anul 1996, (Noua metodă de previzionare a zgomotului rutier), cunoscută sub denumirea *NMPB Routes – 96*.

Modelul NMPB Routes - 96 reprezintă astăzi unul dintre cele mai utilizate modele de predicție a zgomotului rutier, fiind integrat în unele soft-uri comerciale, cum este pachetul de programe de calcul CadnaA (Computer Aided Noise Abatement – Reducerea zgomotului asistată de calculator), realizat de firma DataKustik din Greifenberg – Germania și utilizat în peste 60 de țări.

Modelul a fost conceput de către Centrul de Studii al Transporturilor Urbane (Centre d'Etudes des Transports Urbains – CETUR) cu ajutorul Institutului Național de Cercetare a Transporturilor și Siguranței (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité – INRETS) și propune două metode ce diferă prin finețea cu care decruie emisiile de zgomot la deplasarea pe calea de rulare.

Modelul simplificat a fost conceput să permită determinarea printr-un calcul foarte rapid a zgomotului echivalent LA_{eq} receptat la nivelul fațadei clădirii pe timpul zilei (între orele 6.00 și 22.00), pentru două cazuri: străzi cu structură în U (zgomotul este receptat după multiple reflexii pe fațadele clădirilor) și străzi deschise (zgomotul este primit de către receptor în mod direct sau după o reflexie pe sol).

Distincția între străzi cu structură în U și străzi deschise nu este numai în raport cu modelul de propagare a sunetului, ci și în ceea ce privește reprezentarea traficului rutier.

Astfel, străzile în U sunt asociate cu circulația urbană - unde traficul este pulsatoriu (alternează fazele de accelerare și fazele de decelerare, fără să poată fi separate cele două stări). Indicatorul de zgomot LA_{eq} calculat pentru o distanță de 2 m de la fațada clădirilor care mărginesc drumul este dat de relația:

$$LA_{eq} = 55 + 10\log(Q_{VI} + Q_{PI}) - 10\log l + k_h + k_v + k_r + k_c \quad (4.21)$$

unde:

- Q_{VI} –debitul reprezentativ (a 17-a parte din debitul zilnic) de vehicule ușoare [veh/h];
- Q_{PI} – debitul reprezentativ (a 17-a parte din debitul zilnic) de vehicule grele [veh/h];
- E – factor de echivalență acustică între vehiculele grele și vehiculele ușoare;
- k_h – factor de corecție în funcție de înălțimea punctului de observație față de drum;
- k_v – factor de corecție în funcție de viteză (pentru viteze superioare vitezei de referință, 60 km/h);
- k_r – factor de corecție în funcție de înclinarea longitudinală a drumului;
- k_c – factor de corecție în funcție de tipul intersecției (carrefour – lb. fr.).

Alți parametri de care se ține seama sunt declivitățile și intersecțiile. Pentru intersecții, modelul ia în calcul doar influența arterelor laterale.

4.3.3. Modelul american: FHWA Traffic Noise Level (1995)

Modelul american de previzionare a zgomotului rutier se bazează pe cercetări realizate în anii '90 de către Administrația Națională a Autostrăzilor din SUA (Federal Highway Administration – FHWA).

Se determină nivelul de presiune maximă LA_{max} la 15 m de marginea șoselei cu relația:

$$LA_{max}(s) = 10 \log \left(10^{\frac{C+\Delta E_c}{10}} + 10^{\frac{A \log(s)+B+\Delta E_b}{10}} \right) \quad (4.24)$$

unde:

- s este viteza (notația provine de la speed – viteză, în lb. engl.);
- A , B și C sunt cei 3 parametri ai legii de emisie, definiți în funcție de categoria vehiculului, tipul căii de rulare, panta drumului și natura traficului;
- ΔE_c și ΔE_b sunt ajustări ale parametrilor respectivi de la media aritmetică la media energetică.

Termenul $A \log(s) + B$ corespunde zgomotului produs de contactul pneu – cale de rulare, acesta variind logaritmice cu viteza. Parametrul A variază cu viteza, dar este considerat independent de îmbrăcămintea drumului, aceasta influențând doar parametrul B .

Influența înclinării longitudinale a drumului este luată în calcul prin parametrul C , dar numai pentru autocamioane - considerându-se că se modifică zgomotul produs de motor și de eșapament. Tot coeficientul C se va modifica dacă deplasarea este accelerată, dar numai în cazul drumului orizontal.

Acest model matematic are avantajul simplității, dat fiind că el utilizează puțini parametri și o singură variabilă – viteza vehiculului.

4.3.4. Modelul britanic: CoRTN procedure (1988)

Modelul britanic pentru calculul zgomotului rutier CoRTN (Calculation of Road Traffic Noise – lb. engl.) a fost realizat de către Laboratorul de Cercetare pentru Drumuri și Transporturi (Transport and Road Research Laboratory) și Departamentul Transporturilor (Department of Transport) din Marea Britanie în anul 1975 și a fost modificat în 1988.

Parametrii utilizați în acest model sunt: mărimea fluxului de trafic și compoziția sa, viteza medie, înclinarea drumului și tipul căii de rulare.

Procedura de calcul urmează 5 pași:

1. Se împarte drumul sau rețeaua rutieră în unul sau mai multe segmente, astfel încât variația nivelului de zgomot în cadrul unui segment poate fi sub 2 dBA;
2. Se calculează nivelul de zgomot de bază pentru 10 m distanță față de cea mai apropiată margine a drumului, pentru fiecare segment. Acesta depinde de viteză, fluxul de trafic și de compoziția traficului. Traficul este considerat ca o sursă liniară poziționată la 0,5 m de suprafața drumului și la 3,5 m față de marginea carosabilului spre interiorul drumului.
3. Se evaluează nivelul de zgomot, pentru fiecare segment, luând în calcul atenuarea datorată distanței și ecranării sursei linie (inclusiv prin bariere subțiri).
4. Ajustarea nivelului de zgomot luând în calcul:
 - a) – reflexiile datorate clădirilor și fațadelor de pe cealaltă parte a drumului și ecranele existente în calea undelor reflectate;
 - b) – mărimea segmentelor sursă (unghiul sub care sunt văzute).
5. Coroborarea contribuțiilor tuturor segmentelor pentru a rezulta nivelul de zgomot estimat în punctul de recepție pentru întreaga schemă rutieră luată în calcul.

Astfel, nivelul de zgomot de bază pentru 10 m distanță se calculează cu relația:

$$L_{10} = 42,2 + 10 \log(q) \quad (4.25)$$

unde q este fluxul orar de trafic și ipotezele considerate sunt: viteza de bază este $v = 75$ km/h, procentul vehiculelor grele este $P = 0\%$, înclinarea drumului este $G = 0\%$, linia sursă este la 3,5 m de marginea drumului și drumul este singular, cu o lățime de cel puțin 5,0 m.

În condițiile reale însă, ipotezele nu se confirmă, astfel că la distanța D nivelul de zgomot L_D va avea o valoare ce va fi obținută prin ajustarea nivelului de zgomot de bază în funcție de parametrii prezentați mai sus, conform relației:

$$L_D = L_{10} + A_{HV} + A_D + A_G + A_{GC} + A_a + A_B \quad (4.26)$$

în care corecțiile A_i sunt prezentate în continuare.

• A_{HV} = corecția (ajustarea - adjustment, în lb. engl.) în funcție de viteză și de proporția vehiculelor grele:

$$A_{HV} = 33 \log \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \log \left(1 + \frac{5P}{V} \right) - 68,8 \quad (4.27)$$

unde V este viteza traficului și depinde de tipul drumului, iar P este procentul vehiculelor grele în structura traficului ($P = 100 \cdot q_{HV}/q$, în care q_{HV} este volumul orar al vehiculelor grele).

• A_D = corecția în funcție de distanță:

$$A_D = -10 \log(D^*/13,5) \quad (4.28)$$

unde D este distanța de la sursa efectivă de zgomot la receptor (direcția poate fi oblică), în metri.

• A_G = corecția în funcție de gradientul sau înclinarea drumului:

$$A_G = \left[0,73 + \left(2,3 - \frac{1,15P}{100} \right) \frac{P}{100} \right] G, \quad (4.29)$$

unde G este gradientul drumului, exprimat în procente. Se observă că intervine în calculul acestei corecții procentul de vehicule grele P .

• A_{GC} = corecția în funcție de tipul îmbrăcămînții drumului (Ground Cover – lb. engl.), calculată diferit în funcție de valoarea vitezei:

- pentru $v > 75$ km/h, intervine în relația de calcul adâncimea texturii îmbrăcămînții drumului, diferit pentru beton și bitum;
- pentru $v < 75$ km/h se adoptă valorile: $A_{GC} = -1$ dBA pentru suprafețe impermeabile de bitum și $A_{GC} = -3,5$ dBA pentru suprafețe de drum permeabile.

- A_a = corecția pentru unghiul de vedere θ (unghiul dintre direcția de deplasare a vehiculului și direcția în care se află receptorul) :

$$A_a = 10 \log\left(\frac{\theta}{180}\right) \quad (4.30)$$

- A_B = corecția pentru ecranarea realizată de bariere subțiri, calculate în funcție de modul de propagare al undelor (direct, prin reflexive, prin difracție) și de caracteristicile și dispunerea obstacolelor.

Se observă că aceste corecții pot fi grupate în 3 categorii, în funcție de: caracteristicile traficului (A_{HV}), caracteristicile căii de rulare (A_G și A_{GC}), caracteristicile mediului de propagare (A_D , A_a , și A_B).

4.4. Modelarea zgomotului rutier cu softul specializat VISUM

VISUM este un sistem software care integrează toate tipurile de transport public și transport privat într-un singur model [PTV Vision, *VISUM 11,5 – Basics*, 2010], pentru simularea macroscopică a traficului rutier. El este suplimentat cu sistemul software VISSIM pentru simularea microscopică a traficului rutier. Împreună, cele două sisteme software alcătuiesc sistemul PTV Vision.

În cadrul softului VISUM există modulul independent “Environmental impact analysis” (Analiza impactului asupra mediului), utilizat pentru a calcula impactul pe care traficul rutier (cel motorizat) îl are asupra mediului – zgomotul (de natură fizică) și emisiile poluante (de natură chimică).

În ceea ce privește zgomotul produs de traficul rutier, modulul “Environmental impact analysis” dispune de două proceduri [PTV Vision, *VISUM 11,5 - User Manual*, 2010], una pentru emisia zgomotului (generat de trafic) și a doua pentru imisia de zgomot (cel receptat):

- **Noise-Emis:** calcularea nivelului zgomotului rutier conform modelului RLS 90, *fără a lua în considerație parametrii de imisie* (deci modul de propagare a zgomotului de la sursă la receptor);

- **Noise-Immis:** calcularea zgomotului *pe baza parametrilor de imisie*, conform aceluiași model RLS 90.

Ambele proceduri sunt destul de simple, dar sunt suficiente pentru a identifica variații relative, adică în ce mod, unde și în ce măsură dirijarea traficului pe diverse rute ocolitoare și amenajările rutiere afectează volumul de trafic și, ca urmare, situația zgomotului rutier pe anumite drumuri.

4.4.1. Procedura Noise-Emis

Procedura determină nivelul mediu de zgomot emis pentru “străzi lungi și înguste” deci departe de intersecții rutiere și pentru străzi cu o singură bandă de circulație pe sens), urmând algoritmi din modelul RLS 90.

Astfel, sunt realizate succesiv următoarele operații:

- 1). Calculul nivelului mediu de zgomot L_m^{25} [dBA] la o distanță de 25 m de centrul benzii de circulație (pentru o viteză maxim admisă de 100 km/h) cu relația (4.14) prezentată anterior:

$$L_{m,E}^{25} = 37,3 + 10 \log[Q(1 + 0,082 \cdot P)]$$

unde Q [veh/h] este volumul orar de trafic, iar P [%] este procentul vehiculelor grele (cu masa maximă autorizată de peste 2,8 tone).

Valorile pentru P se determină în baza matricelor O-D (Origine-Destațiație) pentru vehicule ușoare și pentru vehicule grele rezultate în urma măsurătorilor de trafic. Dacă

acestea nu sunt disponibile, se pot adopta valorile din tab. 1, în funcție de categoria drumului pe care se circulă.

Mărima de bază în calculul zgomotului este *volumul relevant de trafic orar*, în [veh/h]. Întrucât volumele de trafic sunt în general exprimate ca volume zilnice medii de trafic (Average Daily Traffic – ADT [veh/24 ore], ele vor trebui convertite în volume orare standard, Q [veh/h], pe baza unui tabel de corecție.

2). Determinarea corecției în funcție de tipul îmbrăcămînții drumului, D_{StrO} [dBA], utilizând tabelul de mai jos.

Tab. 4.3. Corecția D_{StrO} pentru diferite suprafețe ale drumului.

	Suprafața drumului	D_{StrO} [dB(A)] pentru viteza maximă admisibilă de		
		30 km/h	40 km/h	≥ 50 km/h
1	Asfalt turnat neted. Asfalt-beton sau asfalt mixt	0,0	0,0	0,0
2	Beton sau asfalt turnat	1,0	1,5	2,0
3	Pavaje cu suprafață plană	2,0	2,5	3,0
4	Alte pavaje	3,0	4,5	6,0

3). Determinarea corecției în funcție de viteză, D_V [dBA], pentru viteze maxim admise diferite de 100 km/h, utilizând relațiile următoare:

4). Determinarea corecției D_{Stg} [dBA] pentru înclinații și gradient, cu relațiile:

Rezultatul final pentru fiecare tronson rutier este nivelul emisiei de zgomot $L_{m,E}$ [dBA], care este calculat cu relația cumulativă următoare:

$$L_{m,E} = L_{m,E}^{25} + D_V + D_{StrO} + D_{Stg} \quad (4.54)$$

4.4.2. Procedura Noise-Immis

Această procedură determină nivelul mediu de zgomot imis atât pentru “străzi lungi și înguste” (aici sunt incluse și așa-numitele “one-way roads” - străzile cu circulație într-un singur sens) cât și pentru străzile cu mai multe benzi de circulație pe sens (multi-lane roads – lb. engleză), în concordanță cu modelul RLS 90.

Calculul se bazează pe rezultatul final $L_{m,E}$ obținut prin aplicarea procedurii Noise-Emis și constă în aplicarea succesivă a următoarelor operații:

1). Determinarea corecției D_s [dBA] ce ține cont de variația nivelului de zgomot din cauza absorbției zgomotului în aer, cu relația:

$$D_s = 15,8 - 10 \cdot \lg(s_1) - 0,0142 \cdot (s_1)^{0,9} \quad (4.55)$$

unde s_1 este distanța dintre punctul de emisie și punctul de recepție a zgomotului (absorbția zgomotului în aer depinde de distanța s_1).

2). Determinarea corecției D_{BM} [dBA] ce ține cont de variația nivelului de zgomot datorită suprafeței terenului și a absorbției meteorologice:

Propagarea sunetului este influențată și de amortizarea datorată solului (Boden – sol, în lb. germ.) și a condițiilor meteorologice, corecția necesară fiind dată de formula:

$$D_{BM} = -4,8 \cdot \exp \left[- \left(\frac{h_m}{s_1} \cdot \left(8,5 + \frac{100}{s_1} \right) \right)^{1,3} \right], \quad (4.56)$$

unde înălțimea medie h_m este distanța medie dintre linia de nivel și linia de legătură între punctul de emisie (geneză) și punctul de imisie (recepție).

3). În final, nivelul de imisie L_m pentru fiecare legătură rutieră activă este calculat prin adăugarea la nivelul de zgomot emis $L_{m,E}$ a celor două corecții calculate mai sus:

$$L_m = L_{m,E} + D_s + D_{BM} \quad (4.57)$$

4). Determinarea nivelului mediu de zgomot pentru pentru străzile cu mai multe benzi de circulație pe sens (multi-lane roads) se realizează prin agregarea valorilor rezultate pentru fiecare bandă de circulație (obținute prin calculul specific străzilor lungi și înguste – “long and straight roads”).

Astfel, dacă sunt 2 benzi pe sensul de circulație, se calculează nivelul de zgomot produs de fluxurile rutiere de pe cele două benzi cu relația:

$$L_m = 10 \log[10^{0,1L_{m,n}} + 10^{0,1L_{m,f}}], \quad (4.58)$$

unde $L_{m,n}$ este nivelul mediu de zgomot corespunzător celei mai apropiate benzi de circulație (exterioare), iar $L_{m,f}$ este cel care corespunde benzii mai îndepărtate (interioare).

Din cauză că determinarea zgomotului în VISUM nu ia în considerare variația nivelului de zgomot din cauza condițiilor topografice, măsurilor constructive sau altor factori ce determină reflexii ale zgomotului, modelul “Environmental impact analysis” corespunde distribuției libere și egale a zgomotului în toate direcțiile de deasupra terenului.

4.5. Analiză comparativă a modelelor de predicție a zgomotului rutier

O analiză bazată pe principalii parametri – procentul vehiculelor grele $p = 10\%$, distanța de la drum la receptor $d_R = 10$ m, viteza medie $v_{medie} = 60$ km/h și viteza limită $v_{lim} = 70$ km/h – sintetizată într-un grafic în coordonate “nivel de zgomot – volum de trafic”, confirmă o asemănare destul de mare între modele (fig. 4.4).

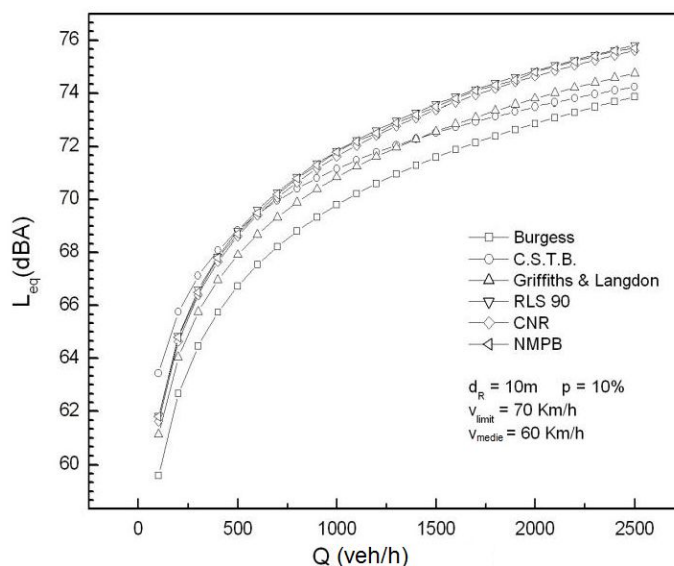


Fig. 4.4. Comparatie între diferite modele de predicție a zgomotului rutier [Quartieri, 2008].

Principala limită a acestor modele o reprezintă abordarea pe baze statistice pentru evaluarea parametrilor din ecuația modelului [Quartieri, 2008]. Nici ajustarea datelor experimentale (ca la modelele Burges sau Griffiths & Langdon) și nici utilizarea unor eşantioane pentru experimentare nu asigură luarea în considerare a naturii aleatorii intrinseci a fluxurilor de trafic.

Un model ideal ar trebui să surprindă și această variabilitate naturală a fluxurilor rutiere - dată de variabilitatea vehiculelor chiar în cadrul aceleiași categorii și de comportamentul diferit al conducătorilor auto în aceleași condiții de trafic.

O direcție prolifică pentru studiul poluării fonice produse prin zgomotul rutier poate fi abordarea simultană, în cadrul unui model mai complex, a poluării fonice și a poluării chimice produse de traficul rutier [Guarnaccia, 2013], fiind publicate în ultimii ani mai multe studii ce propun modelarea emisiilor poluante din aer în relație cu dinamica vehiculelor, așa cum este și cazul zgomotului rutier.

4.6. Analiza verosimilității modelelor de predicție a zgomotului rutier

Cea mai simplă (și eficace) metodă pentru evaluarea verosimilității modelului de predicție a zgomotului rutier utilizat este compararea valorilor prezise prin modelul teoretic cu valorile obținute prin măsurare, condițiile de măsurare fiind similare cu cele utilizate în calculul teoretic.

Analitic, gradul de verosimilitate al modelului utilizat se realizează prin metodele cunoscute din teoria modelării matematice. Astfel, în fig. 4.6 o aceeași distribuție de perechi de valori (L_{eq} , Q) a fost descrisă analitic prin 3 modele matematice: liniar, polinomial de gradul doi și exponențial.

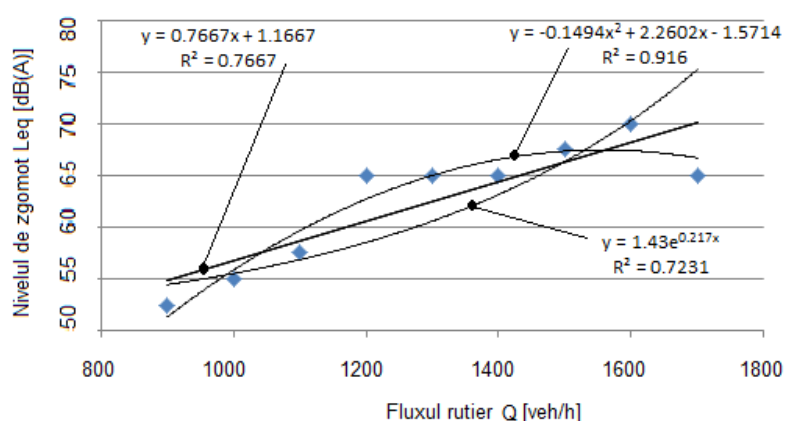


Fig. 4.6. Diverse legi teoretice pentru modelarea matematică a zgomotului rutier.

Programele de calcul (Microsoft Excel, Matlab) permit și determinarea gradului de corelație (rădăcina pătrată a mărimii R^2): cu cât R^2 este mai aproape de valoarea unitară, cu atât verosimilitatea este mai ridicată (în fig. 4.6, cel mai verosimil este modelul polinomial).

4.7. Propunerea unui model integrat pentru predicția zgomotului rutier imis

În urma celor prezentate, se constată că există o diversitate de modele de predicție a zgomotului rutier, dar rezultă câteva concluzii de interes, pe care se poate fundamenta propunerea unui model integrator pentru predicția zgomotului rutier – pentru diverse zone ale rețelei rutiere (definită prin intersecții rutiere și artere rutiere), pentru diverse caracteristici ale traficului rutier și pentru diverse caracteristici ale circulației rutiere.

Astfel, se constată că principala diferențiere a surselor de zgomot rutier se poate face în funcție de caracteristicile traficului rutier:

- atunci când receptorul se află la o distanță mică de fluxurile de trafic, în raport cu distanța dintre vehicule (aflată în relație cu densitatea traficului), cea mai potrivită abordare este cea în care se iau în calcul vehiculele individuale – surse de zgomot punctiforme;
- în caz contrar, este indicat să se considere ca sursă de zgomot întreg fluxul rutier (definit prin caracteristicile sale – debit, viteză, densitate), deci ca sursă-linie.

Considerarea vehiculelor individuale drept surse de zgomot punctiforme înseamnă, de fapt, luarea în discuție a entității „vehicul – conducător auto”, ceea ce impune o abordare bazată pe microsimularea traficului rutier. În acest fel este definită mișcarea vehiculului din punct de vedere cinematic (viteza și accelerația), dar se au în vedere și regimurile de funcționare ale motoarelor de autovehicule (sarcina și turația), acestea fiind regimuri tranzitorii la trecerea prin intersecția rutieră, regimuri în cadrul cărora emisiile de zgomot sunt foarte mari. În ceea ce privește deplasarea pe artere rutiere care nu se află în vecinătatea intersecțiilor rutiere, mișcarea vehiculelor se poate considera stabilă (viteză constantă), astfel că abordarea se poate baza pe caracteristicile fluxului rutier.

Ca urmare, având în vedere și considerațiile prezentate despre modelarea traficului rutier, conjugate cu cele referitoare la modelarea zgomotului rutier, s-a ajuns la propunerea pentru următorul model de predicție a zgomotului rutier imis (zgomot perceput de receptor) pe baza caracteristicilor traficului rutier și ale mediului de propagare a zgomotului – fig. 4.7.

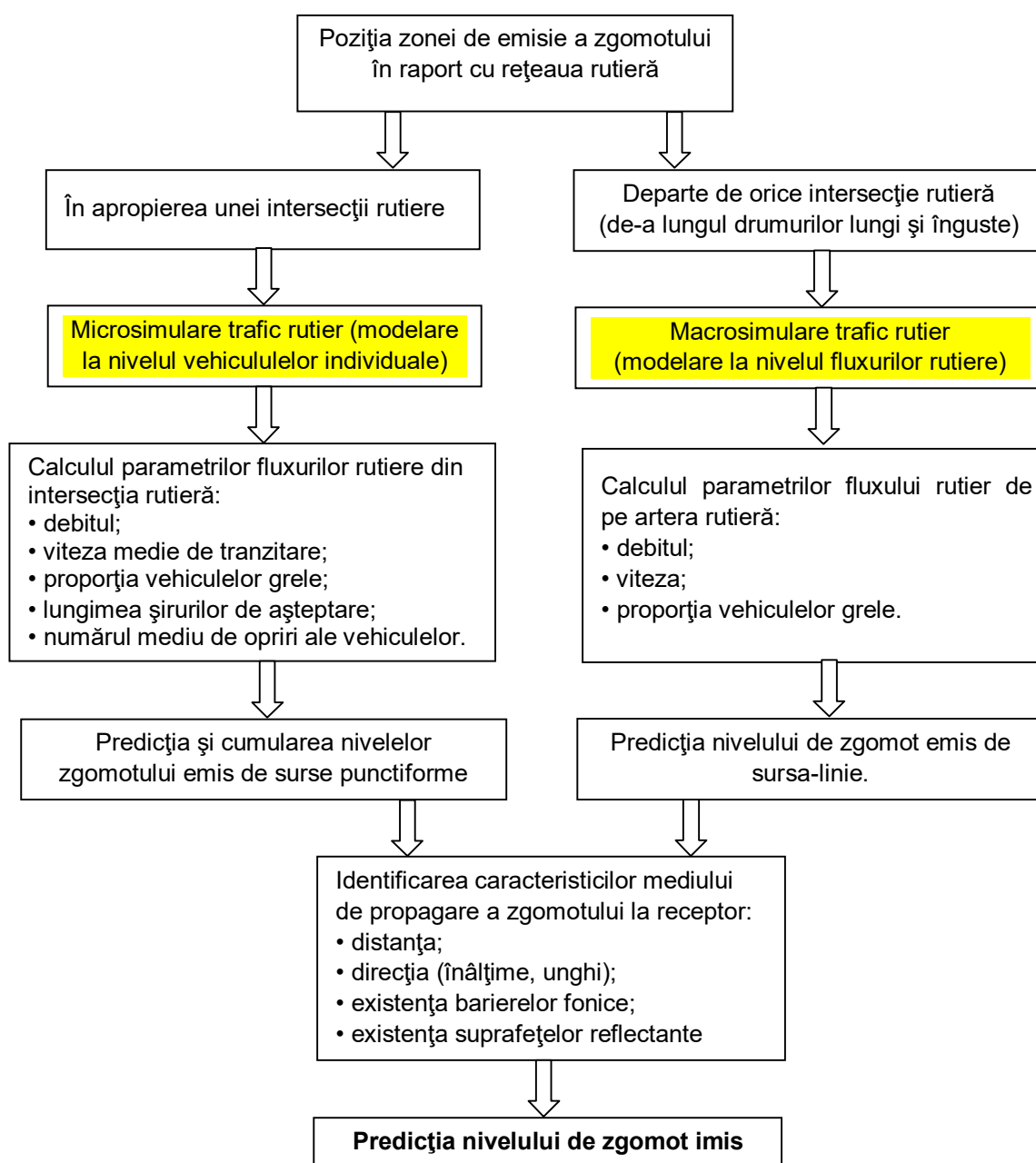


Fig. 4.7. Modelul integrat propus pentru predicția zgomotului rutier imis.

Acest model complex are un caracter integrator – este dezvoltat astfel încât sunt avute în vedere caracteristicile întregului sistem „conducător auto – drum – vehicul”, cât și ale mediului de propagare a zgomotului (prin care zgomotul emis se transmite la receptor, unde este perceput zgomot imis - atenuat și cu caracteristici modificate).

Modelul include în etapa de modelare a traficului rutier (microsimulare sau de macrosimulare) algoritmi pentru calculul volumelor curenților de trafic din intersecțiile în sens giratoriu, operabili prin programele Java realizate – prezentate în capitolul 2.

Modelul este operabil, pe baza modelelor deja existente, pentru cazul când se ia în calcul fluxul rutier (specific arterelor rutiere lungi și înguste), dar pentru cazul surselor punctiforme (specific intersecțiilor sau unui trafic foarte redus), metodele existente sunt încă imprecise, motiv pentru care cea mai bună abordare în acest caz este cea bazată pe metode statistice de prelucrare a rezultatelor obținute prin măsurători.

4.8. Concluzii

Se constată că modelele de evaluare a zgomotului au evoluat atât în ceea ce privește mărimea de zgomot estimată (de la cuantila de 50% a nivelului de zgomot la nivelul echivalent de zgomot L_{eq} , calculat în funcție de mai multe cuantile - L_{10} , L_{50} , L_{90} , și la nivelul de zgomot echivalent obținut prin agregarea modelelor anterioare într-o expresie generală, în care să se regăsească oricare dintre ele prin particularizare), cât și parametrii luați în calcul (s-a pornit de la volumul de trafic și distanța până la receptor, după care s-au adăugat succesiv, ca parametri, viteza fluxului de vehicule, compoziția traficului și înălțimea eventualelor obstacole).

Pentru evaluarea zgomotului emis de fluxurile rutiere compozite a fost definit echivalentul acustic al vehiculelor grele (definit ca numărul de vehicule ușoare care generează o energie acustică egală cu cea generată de un singur vehicul greu), asociat în calcule cu conceptul de autoturism etalon din punct de vedere al zgomotului emis.

Necesitatea legislativă de a oferi metodologii standardizate la nivel național pentru evaluarea poluării fonice, pe baza cărora să se poată propune măsuri administrative pentru reglementări rutiere prin care să se exercite controlul asupra acestui fenomen, a determinat în final ca fiecare țară să adopte un anumit model pentru evaluarea poluării fonice în funcție de caracteristicile traficului rutier și anumite valori limită pentru nivelul de zgomot rutier.

Astfel, în cadrul acestor normative naționale de evaluare a zgomotului rutier au fost integrate diverse modele de predicție a zgomotului în funcție de traficul rutier, care de cele mai multe ori au un caracter de originalitate, deoarece urmăresc specificul țării respective în ceea ce privește factorii determinanți pentru emisia și propagarea zgomotului rutier.

Cele mai recunoscute modele sunt cele elaborate în țările cu preocupări deosebite în domeniu, modele ce au fost preluate și de alte țări cu condiții de trafic asemănătoare și se regăsesc în programele de calcul specializate în modelarea traficului rutier, cum sunt softul Visum din cadrul pachetului de programe dedicate PTV Vision produs de firma PTV AG din Karlsruhe – Germania, softul Emme din pachetul INRO Software produs de firma INRO din Montreal – Canada și CadnaA (Computer Aided Noise Abatement), realizat de firma DataKustik din Greifenberg – Germania.

Cele mai întâlnite modele de predicție a zgomotului, ce se constituie în standarde cu caracter național, sunt:

1. *Modelul german: RLS 90 (1990);*
2. *Modelul francez: NMPB Routes (2008);*
3. *Modelul american: FHWA Traffic Noise Level (1995);*
4. *Modelul britanic: CoRTN procedure (1988);*
5. *Modelul italian: CNR (1991);*

6. Modelul japonez: ASJ (1993);
7. Modelul chinez: GIS Trafic Noise Level (2002);
8. Modelul thailandez: ERTC (1999).

A fost realizată o analiză comparativă între diferitele modele de predicție a zgomotului rutier prezentate, remarcându-se că modelele dezvoltate sau adoptate în cele mai mari țări din Europa – modelul RLS 90 în Germania, modelul NMPB în Franța și modelul CNR în Italia – conduc la valori foarte apropiate pe aproape întreg domeniul de valori al fluxului de trafic.

S-a semnalat faptul că din punct de vedere analitic toate modelele se bazează pe o primă mărime de calcul (mărime de referință sau mărime standard), care este un descriptor al energiei acustice - nivelul echivalent de zgomot L_{eq} sau o cuantilă a nivelului de zgomot, L_{10} sau L_{50} , care este corectată în raport cu diverși parametri - absorbția realizată de teren, condițiile meteorologice, înclinarea longitudinală a drumului, viteza medie, tipul fluxului de trafic, etc.

Ca urmare, principala limită a acestor modele o reprezintă abordarea pe baze statistice pentru evaluarea parametrilor din ecuația modelului, fără a surprinde variabilitatea inerentă a fluxurilor rutiere - dată de variabilitatea vehiculelor chiar în cadrul aceleiași categorii și de comportamentul diferit al conducătorilor auto în aceleași condiții de trafic.

O direcție prolifică pentru îmbunătățirea modelelor de prognoză a poluării fonice produse de traficul rutier se constată a fi modelarea zgomotului rutier în relație cu dinamica vehiculelor individuale (în care se regăsește variabilitatea performanțelor dinamice ale vehiculelor și a caracteristicilor decizionale și de acțiune ale conducătorilor auto), deci dezvoltarea unor modele dinamice, ceea ce presupune ca acestea să se bazeze pe microsimularea traficului rutier. Această abordare este potrivită pentru estimarea zgomotului rutier în proximitatea intersecțiilor rutiere, unde există variații mari ale regimului de deplasare al vehiculelor (frânări și accelerări pronunțate), ceea ce presupune și regimuri variabile de funcționare ale motoarelor.

Pentru deplasarea pe arterele rutiere lungi, viteza vehiculelor este cvasiconstantă, astfel că modelele matematice se bazează pe parametrii fluxului rutier – viteza și densitatea traficului (aceasta rezultând pe baza valorilor măsurate pentru debitul și viteza traficului).

Referitor la analiza verosimilității modelelor de predicție a zgomotului rutier, principiul de bază este compararea valorilor prezise prin modelul teoretic cu valorile obținute prin măsurare, condițiile de măsurare fiind similare cu cele utilizate în calculul teoretic.

În acest sens este prezentată o aplicație, pentru a evidenția posibilitățile pe care le oferă programul Microsoft Excel pentru modelarea distribuțiilor prin diverse funcții algebrice și pentru determinarea gradului de corelație al modelelor matematice obținute cu distribuția de valori experimentale.

În final, pe baza considerațiilor prezentate în capitolul ce tratează modelarea traficului rutier, conjugate cu cele referitoare la modelarea zgomotului rutier, s-a propus un model de predicție a zgomotului rutier imis pe baza caracteristicilor traficului rutier și ale mediului de propagare a zgomotului, model în care sunt integrate, pentru calculul volumelor de trafic din intersecțiile în sens giratoriu, programele de calcul Java pentru fluxurile rutiere din intersecțiile în sens giratoriu, ce operează cu algoritmi matematici special realizați.

Acest model complex are un caracter integrator – este dezvoltat astfel încât sunt avute în vedere caracteristicile întregului sistem „conducător auto – drum – vehicul”, cât și ale mediului de propagare a zgomotului și este operabil, pe baza modelelor deja existente, pentru cazul când se iau în calcul caracteristicile fluxului rutier, dar pentru cazul surselor punctiforme (specific intersecțiilor sau unui trafic foarte redus), metodele existente sunt încă imprecise, motiv pentru care cea mai bună abordare în acest caz este cea bazată pe metode statistice.

Cap. 5. PROBLEME DE TRAFIC IDENTIFICATE ÎN ZONA CENTRALĂ A MUNICIPIULUI PITEȘTI ȘI STUDII DE TRAFIC EFECTUATE

Observațiile asupra traficului rutier din zona centrală a municipiului Pitești (zona delimitată pe harta din fig. 5.1) efectuate înainte de a fi dată în funcțiune artera rutieră de supratraversare a Căii București lângă podul de cale ferată de la Podul Viilor au relevat apariția în perioadele de vârf de trafic (dimineața și după-amiaza) a fenomenului de congestie rutieră pe tronsoanele rutiere reprezentate cu culoarea albastră în fig. 1.1.

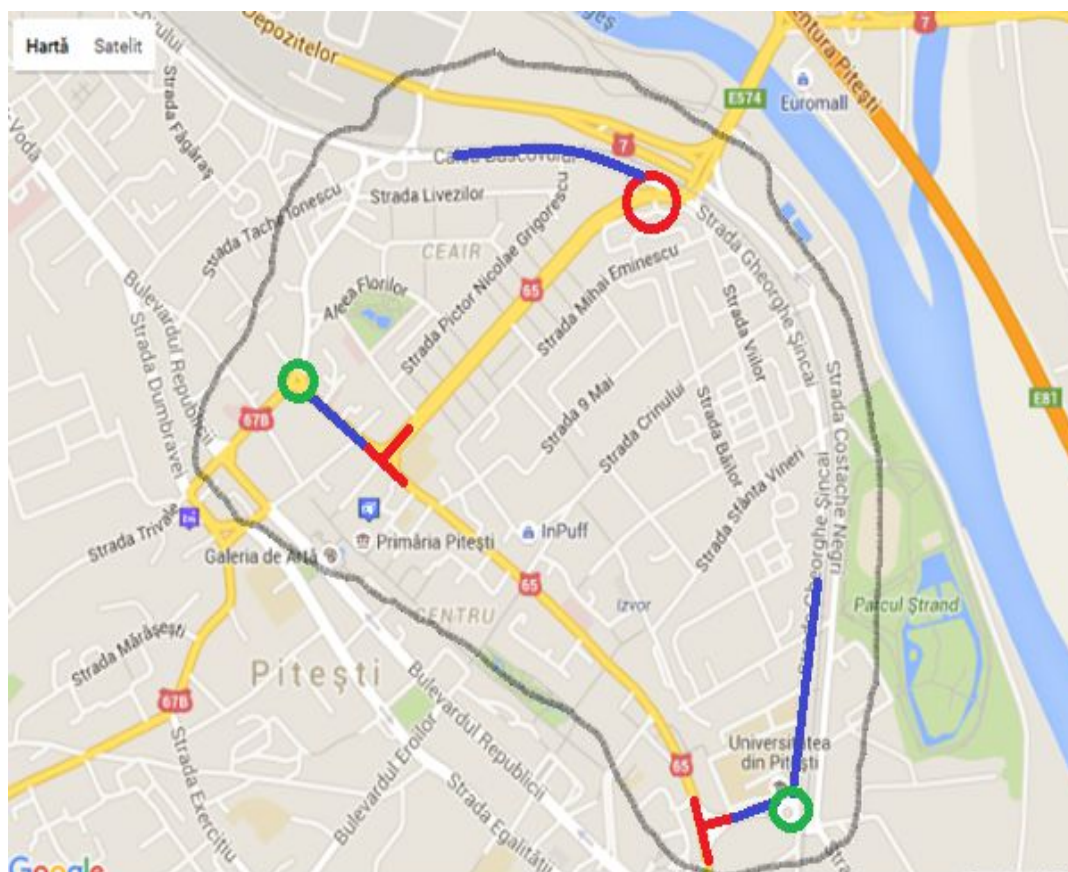


Fig. 5.1. Intersecțiile din zona centrală a municipiului Pitești și tronsoanele rutiere unde apare congestie rutieră (culoare albastră).

Rețeaua rutieră este constituită din artere rutiere și din intersecții rutiere, dar se constată că, aproape întotdeauna, fenomenul de congestie este determinat doar de nivelul de serviciu nesatisfăcător al intersecțiilor rutiere [Boroiu, A-A, 2015]. Această observație este valabilă și pentru zona centrală a municipiului Pitești: rezolvarea problemei congestiei rutiere necesită analiza circulației rutiere în principalele intersecții din această zonă.

5.1. Analize de trafic pentru intersecțiile semaforizate din zona centrală

Modul de determinare a capacității și a nivelului de serviciu pentru intersecțiile semaforizate este prezentat în lucrarea [CNADNR, 2009], în concordanță cu manualul de referință în domeniu, [HCM, 2010], iar o serie de considerații cu privire la intersecțiile rutiere din zona centrală a municipiului Pitești sunt prezentate în lucrarea [Boroiu, A-A, 2015-1].

Pentru intersecția semaforizată Maior Șonțu – Târgul din Vale (care constituie una din intersecțiile semaforizate ce constituie subiect pentru lucrarea de față), geometria intersecției și amenajările rutiere identificate prin observațiile din teren sunt prezentate în fig. 5.2 [Boroiu, A-A, 2015-1].

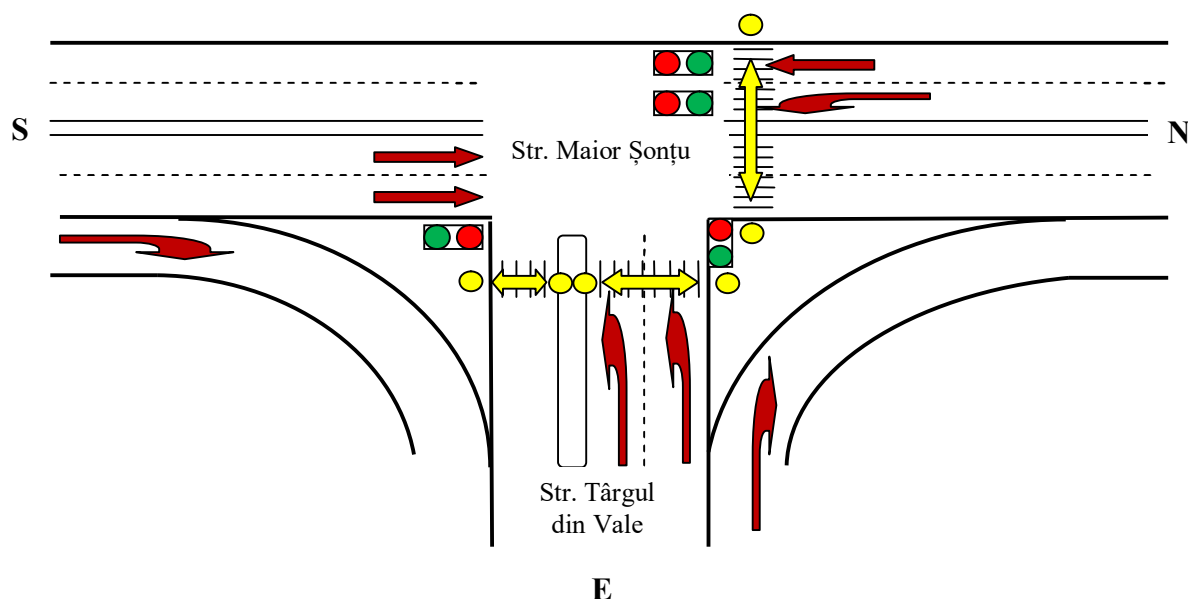


Fig. 5.2. Organizarea circulației în intersecția semaforizată Maior Șonțu.

Reglementarea circulației rutiere este realizată prin semaforizare, *Timpul total pentru ciclul de semaforizare* fiind $T_C = 94 \text{ s}$, din care:

- Durata efectivă a ciclului (**timp total de Verde**): $T_{C,ef} = 86 \text{ s}$;
- **Timp de Galben și Roșu integral**: $T_{Galben \text{ și Roșu integral}} = 8 \text{ s}$.

Grupurile de benzi (reprezentate în fig. 5.6) au următorii timpi de Verde:

- 1 bandă înainte N-S: $T_{Verde, N-S} = 58 \text{ s}$;
- 2 benzi înainte S-N: $T_{Verde, S-N} = 35 \text{ s}$;
- 1 bandă la stânga N-E: $T_{Verde, N-E} = 21 \text{ s}$;
- 2 benzi la stânga E-S: $T_{Verde, E-S} = 30 \text{ s}$.

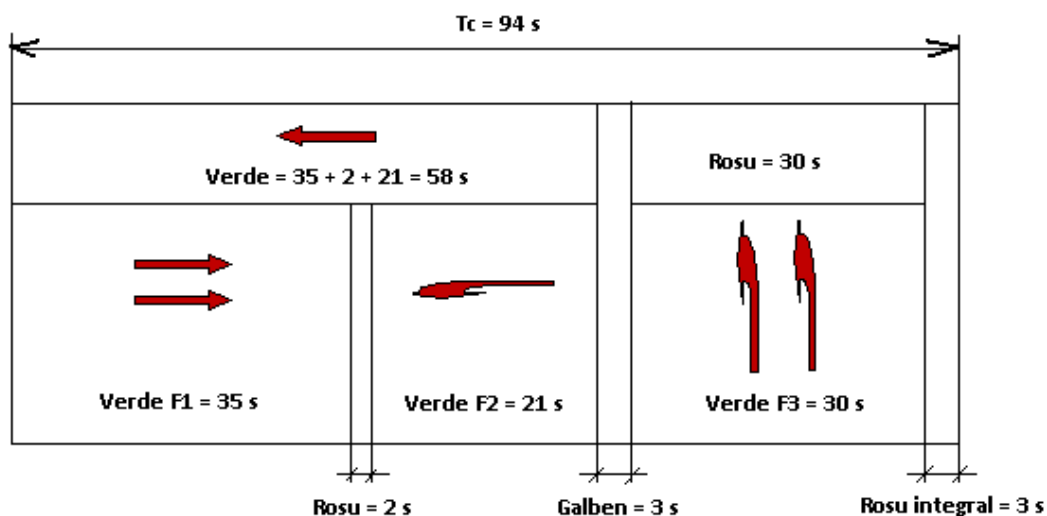


Fig. 5.6. Grupurile de benzi și duratele fazelor de Verde în intersecția Maior Șonțu.

Există diverse metode pentru întocmirea programelor de funcționare a semafoarelor (determinarea duratei ciclului de semaforizare și a duratei fazelor - între care Timpul de Verde este timpul activ, ce permite trecerea vehiculelor sau pietonilor), luând în considerare atât elementele geometrice ale intersecției cât și volumele de trafic și modelul sosirilor.

Alocarea duratei de Verde se poate realiza, în funcție de criteriul utilizat, prin următoarele metode [Roșca, M, Dinu, O, 2012]:

- Egalizarea gradelor de saturație ale mișcărilor critice;
- Minimizarea duratei medii de așteptare a autovehiculelor care tranzitează intersecția;
- Asigurarea principiului “Durată medie de așteptare egală între utilizatori (echitate)”;
- Minimizarea sumei gradelor de saturație.

Prin *nivelul de serviciu al unei intersecții* se înțelege o încadrare în clase de mărime (litere de la A la F) a condițiilor de circulație într-o intersecție.

În tab. 5.1 este prezentată descrierea condițiilor de circulație pentru fiecare nivel de serviciu [CNADNR, 2009].

Tab. 5.1. Condiții de circulație în funcție de nivelul de serviciu.

Nivel de serviciu	Descriere
A	Circulație fluentă, fără șiruri de așteptare, viteză liberă de circulație
B	Circulație fluentă, fără șiruri de așteptare, viteză mai redusă
C	Circulație acceptabilă, posibilități pentru formarea șirurilor de așteptare, viteză mai redusă
D	Circulație acceptabilă, șiruri de așteptare reduse, viteză redusă
E	Circulație dificilă, șiruri de așteptare permanente, viteză redusă
F	Circulație foarte dificilă, șiruri de așteptare permanente, viteză redusă, opriri multiple

Se constată că această mărime (raportul dintre capacitatea utilizată și capacitatea disponibilă a intersecției) poate fi pusă în relație directă cu nivelul de serviciu al intersecției semaforizate și pe această relație sunt fundamentate metodele de evaluare a nivelului de serviciu al acestui tip de intersecții.

Algoritmul de lucru pentru determinarea nivelului de serviciu din *Normativul pentru amenajarea intersecțiilor la nivel pe drumuri publice* [CNADNR, 2009], care este adaptat după modelul prezentat în lucrarea de referință Highway Capacity Manual, este realizat pe baza criteriului *minimizării duratei medii de așteptare a autovehiculelor care tranzitează intersecția*, pe care este fundamentată metoda Webster.

Algoritmul de lucru operează cu două componente ce se determină pentru fiecare grup de benzi i , prezentate în continuare:

- Raportul debit-capacitate (X_i);
- Durata medie de așteptare a unui vehicul d_i ;

În cazul identificat prin observații (capacitatea este depășită pentru una din mișcările de trafic) este interesant primul indicator: raportul debit-capacitate (X_i).

Raportul debit-capacitate ($X_i = v_i/c_i$) este definit ca raportul dintre fluxul de trafic efectiv și capacitate. Se calculează independent pentru fiecare grup de benzi, cu relația:

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (5.1)$$

Valorile reduse, apropiate de 0, semnifică fluxuri de trafic foarte reduse, în timp ce valori mari, în apropiere de 1, semnifică cereri de trafic apropiate de capacitatea de circulație

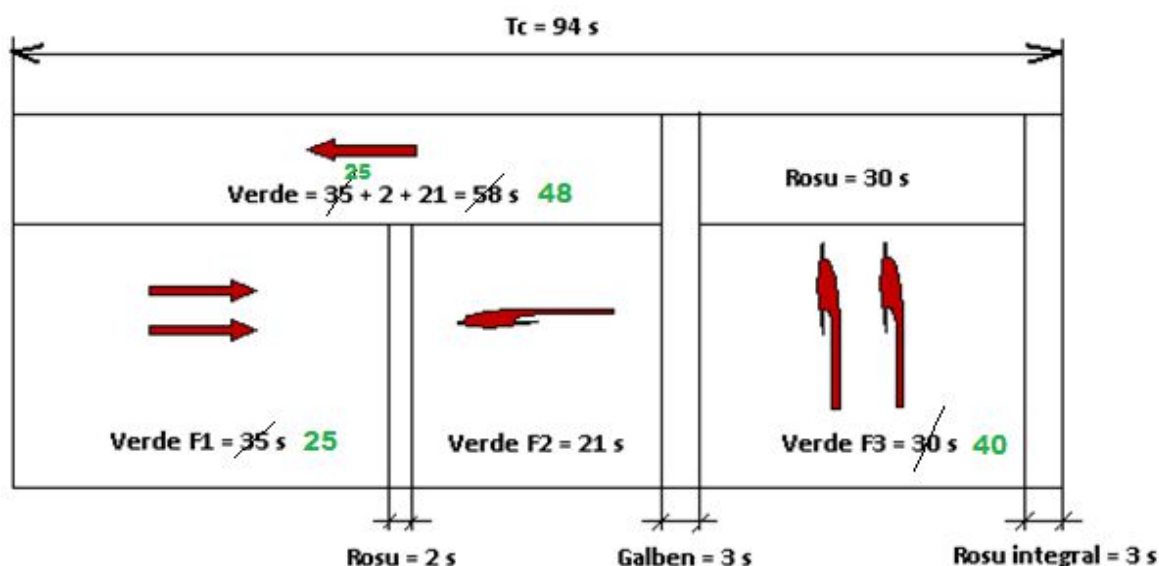
a grupurilor de benzi respective. În cazul de față, valoarea este supraunitară, ceea ce face ca metoda din lucrarea [CNADNR, 2009] să nu fie aplicabilă, astfel că se ajunge la o evaluare a nivelului de serviciu chiar pe baza acestui raport debit-capacitate.

Pentru determinarea nivelului de serviciu se vor lua în calcul valorile maxime ale fluxului de trafic pentru fiecare grup de benzi (vârfurile de trafic).

Astfel, observațiile realizate pentru toate fazele ciclului de semaforizare din intersecție au evidențiat faptul că apare congestia numai pe fluxul dinspre intersecția în sens giratoriu (și se propagă chiar în amonte de aceasta, așa cum se evidențiază în fig. 5.1), în timp ce pentru celelalte mișcări de trafic capacitatea nu este depășită (chiar sub 80% din capacitate este folosită pentru aceste faze al semaforului).

Ca urmare, în urma acestor observații de trafic, propunerea unică ce poate fi avansată în scopul remedierii acestei situații este creșterea duratei de verde pentru mișcarea de trafic respectivă, în detrimentul celorlalte faze de verde.

Examinând ciclul de semaforizare (cu succesiunea fazelor), propunerea de modificare a ciclului este următoarea: creșterea fazei de Verde cu 10 s (33%) pentru mișcarea de trafic deficitară, prin preluarea acestei durate de timp de la mișcările pe direcția înainte (Nord-Sud și Sud-Nord), așa cum se prezintă în schema de mai jos.



În ceea ce privește a doua intersecție în sens giratoriu ce crează același gen de problemă, intersecția B-dul I.C. Bratianu – Calea București, lucrurile sunt similare: se produce congestia pe banda 1 de pe sensul Nord-Sud (pe direcția înainte), în timp ce banda 2, dedicată mișcării de trafic Nord-Est (viraj la stânga spre Calea București) prezintă un exces de capacitate. La fel, mișcarea de trafic de pe Calea București la stânga (în ușoară urcare) spre B-dul I.C. Bratianu utilizează într-o proporție asemănătoare (sub 80%) capacitatea oferită de faza de Verde respectivă.

Ca urmare, examinând ciclul de semaforizare, care este similar cu cel de la intersecția Maior Șonțu (apare doar o fază de Verde pentru pietoni pe colțul cu Colegiul Armand Călinescu și când apare mișcarea de viraj stânga spre Calea București, pe B-dul IC Brătianu dinspre Nord încetează mișcarea spre Sud) - prezentat mai înainte, se propune rezolvarea problemei într-un mod oarecum asemănător: *creșterea duratei de verde pentru mișcarea de trafic respectivă, în detrimentul celorlalte faze de verde.*

În concluzie, rezolvarea problemelor de trafic din cele două zone unde capacitatea necorespunzătoare a intersecțiilor semaforizate afectează buna funcționare a intersecțiilor în

sens giratoriu din proximitate poate fi rezolvată prin adaptarea ciclurilor de semaforizare la structura fluxurilor de trafic din perioadele de vârf: creșterea duratei de verde pentru mișcarea de trafic unde capacitatea s-a dovedit insuficientă și reducerea celorlalte faze de verde de la mișcările de trafic unde există un exces de capacitate.

5.2. Analize de trafic pentru intersecțiile în sens giratoriu din zona centrală

În ceea ce privește intersecțiile în sens giratoriu din zona centrală a municipiului Pitești (v. fig. 5.1), pentru cele două intersecții de la Centrul de Diagnostic și de la Rectorat s-a demonstrat [Boroiu A-A, 2015-1] că efectul direct al rezolvării problemelor de trafic în intersecțiile semaforizate din proximitate va conduce la îmbunătățirea nivelului de serviciu al acestor intersecții și, deci la rezolvarea problemelor de trafic din aceste intersecții.

În cazul *intersecției în sens giratoriu din Târgul din Vale*, observațiile au arătat faptul că nu se pune problema de o capacitate insuficientă a acestei intersecții, faptul că intersecția devine nefuncțională în perioadele de vârf de trafic fiind cauzat de insuficiența capacitate a intersecției semaforizate din str. Maior Șonțu pe brațul dinspre Târgul din Vale. Acest lucru se poate rezolva prin îmbunătățirea ciclului de semaforizare sau prin redirectionarea fluxurilor rutiere ce trec prin intersecția respectivă. Aceste constatări cu privire la funcționalitatea celor două intersecții se mențin și după ce a apărut și a treia intersecție rutieră în sens giratoriu – la Podul Viilor (fig. 5.8).



Fig. 5.8. Intersecția în sens giratoriu în cadrul noii amenajări rutiere de la Podul Viilor [www.primariapitesti.ro].

Astfel, singura intersecție în sens giratoriu care din cauze ce țin de ea însăși nu are un nivel de serviciu suficient de mare este intersecția de la Calea București, care a apărut de curând (a fost dată în funcțiune în data de 12.10.2015), ca o componentă a complexei amenajări rutiere ce include calea rutieră supratrană de lângă podul de cale ferată.

Aici se constată faptul că, având o cale inelară foarte lată, în loc să se asigure o capacitate ridicată a intersecției, efectul este contrar: pe brațul Podul Viilor – Calea București vizibilitatea este atât de favorabilă, razele de racordare ale brațului la calea inelară sunt atât de mari, încât vehiculele pătrund de pe acest braț pe calea inelară cu o viteză foarte mare, ceea ce face imposibilă intrarea în siguranță a vehiculelor ce vin de pe brațul Calea Bascovului și doresc să se meargă pe direcția înainte sau la stânga.

Faptul că nu sunt materializate benzile de pe calea inelară nici măcar prin marcaje

pe carosabil favorizează indisciplina conducătorilor auto care au pătruns în intersecție, în sensul că aceștia nu se încadrează și nu urmează banda inelară de circulație conform regulilor din Codul Rutier [Boroiu, 2003].

Pentru intersecția de la Podul Viilor, au fost realizate măsurători de trafic în data de Marți, 22.03.2016 (înainte de darea în funcțiune a arterei de supratraversare – Joi 24.03.2016), și au fost reținute valorile corespunzătoare vârfului de trafic de la nivelul întregii zile (la orele 16.30, corespunzătoare unei perioade de observare de 15 minute, adică de 1/4 ore).

Ca și în cazul intersecțiilor semaforizate, pentru determinarea nivelului de serviciu al intersecției în sens giratoriu se calculează întârzierile de control, dar în acest caz se folosește o formulă adecvată.

Se observă că principiul este similar cu determinarea lungimii șirurilor de așteptare (în vehicule-etalon). Întârzierile de control se determină cu relația:

$$d = \frac{3600}{c_a} + 900 \cdot T \left[\frac{v_b}{c_a} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_b}{c_a} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_a}\right) \cdot \left(\frac{v_b}{c_a}\right)}{450 \cdot T}} \right] + 5 \quad (5.6)$$

unde:

- d este valoarea întârzierilor de control [sec/veh];
- c_a este capacitatea aferentă brațului [veh/oră];
- v_b este volumul de intrare aferent brațului [veh/oră];
- T este perioada de analiză [ore].

Identificarea nivelului de serviciu s-a realizat pe baza întârzierilor de control, conform tabelului 2.10.

Dar în cazul intersecției analizate, unde apare fenomenul de congestie pe brațul dinspre str. Calea Bascovului, cauza nu ține de capacitatea brațului sau a căii inelare – cale inelară care de fapt este foarte lată – ci de imposibilitatea vehiculelor de pe brațul respectiv de a accede pe calea inelară în condiții de siguranță, dat fiind că vehiculele care circulă pe calea circulară din partea stângă (și cărora trebuie să li se acorde prioritate de trecere) circulă foarte rapid și fără a respecta regulile de circulație în intersecția în sens giratoriu.

Această problemă nu există însă pentru vehiculele de pe brațul Nord care virează la dreapta (acestea având bandă special amenajată – fig. 5.8), ci pentru cele care circulă pe direcția înainte sau virează la stânga.

Consultând și recomandările din lucrarea de referință [HCM 2000], pentru rezolvarea problemei relevate se impune ca o primă soluție marcarea vizibilă a benzilor inelare urmată, eventual, de chiar separarea fizică a benzilor inelare prin profile care obligă pe conducătorii de vehicule să urmeze traseul impus (în caz contrar fiind deranjați de aceste profile).

5.3. Microsimularea traficului rutier

Microsimularea este un termen frecvent utilizat în modelarea traficului, fiind cunoscut mai degrabă prin denumirea diverselor pachete de software utilizate în domeniu: TransModeler, PTV VISSIM, TSIS-CORSIM, Cube Dynasim, LISA+, Quadstone Paramics, SiAS Paramics, Simtraffic, Aimsun. Programe complexe de modelare analitică ca LINSIG, TRANSYT, TRANSYT-7F sau SIDRA INTERSECTION reprezintă o clasă distinctă de modele, bazate pe algoritmi matematici ce reprezintă combinații de elemente ale modelelor de trafic.

Modelele de microsimulare a traficului simulează comportamentul vehiculelor individuale în cadrul unei rețele rutiere predefinite și sunt utilizate pentru a prezice schimbările în structura traficului rezultate ca urmare a modificării fluxurilor de trafic sau a schimbărilor din mediul fizic. Microsimularea are cea mai mare utilitate în modelarea

traficului în rețelele rutiere congestionate, datorită capacității sale de a simula condițiile de formare a șirurilor de așteptare [https://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_simulation].

În ultimii ani se manifestă un interes tot mai crescut pentru modelarea prin microsimulare, dat fiind că aceasta permite reprezentarea vizuală a traficului prezis prin animații 3D, având o putere sporită de convingere pentru factorii de decizie cu privire la soluțiile propuse. Modelarea la nivel microscopic a traficului rutier necesită mai multe date decât modelarea macroscopică, dar prin această analiză se reproduce cu acuratețe mai ridicată condițiile de trafic.

Există numeroase softuri pentru microsimularea fluxurilor de trafic, bazate pe diverse modele matematice de urmărire a vehiculelor, dar cele mai utilizate modele sunt modelul Gipps și modelul Wiedemann [Mitran, G., 2012]. În modelul Gipps, dezvoltat în 1970, se consideră că un conducător auto estimează viteza de deplasare la care poate opri în siguranță pe baza distanței față de vehiculul din față.

Modelul Wiedemann, dezvoltat în anul 1974, este mai complex, el ține cont de comportamentul fizic și psihologic al conducătorilor auto. Modelul este bazat pe percepția conducătorului auto cu privire la regimurile de deplasare ale celorlalte autovehicule din trafic și pe reacția sa la modificările distanțelor față de celelalte vehicule [Vissim 7 - User Manual, 2014]. Principiile de operare ale modelului Wiedemann de urmărire a vehiculelor sunt prezentate în fig. 5.10.

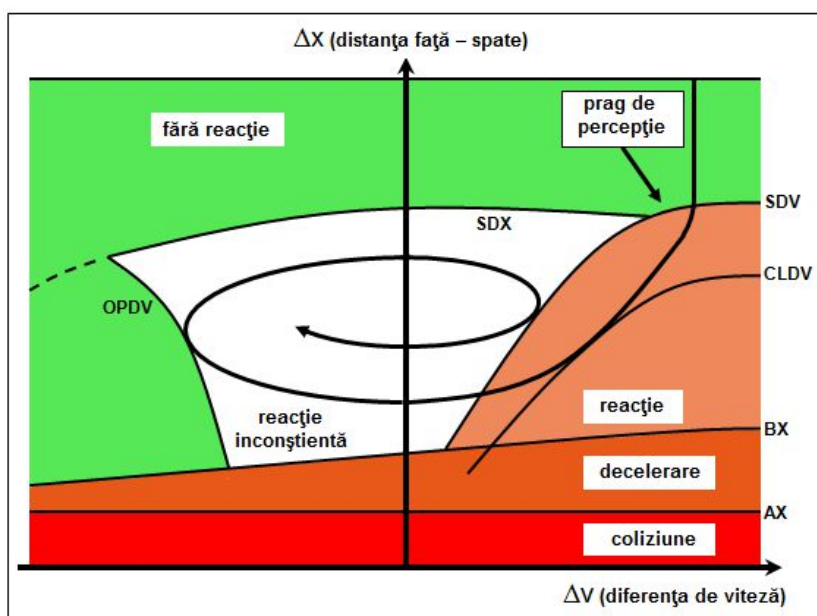


Fig. 5.10. Modelul Wiedemann de urmărire a vehiculelor.

Semnificațiile acronimelor din figură sunt următoarele:

- AX – distanța dorită între vehiculele staționare (este constituită din lungimea vehiculului și distanța față-spate dintre vehiculul urmărit și vehiculul urmăritor);
- BX – distanța minimă de urmărire dorită la diferențe mici de viteză;
- SDV – punctul de percepție a apropierii (de unde conducătorul auto percepe că se apropie de un vehicul care circulă cu o viteză mai mică).
- CLDV – punctul similar cu punctul de apropiere SDV, dar care ține cont de schimbarea percepției odată cu reducerea vitezei). Dar în Vissim acest prag este ignorat, considerându-se CLDV identic cu SDV.
- OPDV - punctul de percepție a îndepărtării (de unde conducătorul auto percepe că circulă cu o viteză mai mică decât vehiculul din față).

Modelul Wiedemann de urmărire a vehiculelor a fost calibrat pe baza a numeroase măsurători realizate la Institutul de Studii pentru Transport din Karlsruhe – Germania (din 2009, KIT – Karlsruhe Institut of Technology). Schimbările în ceea ce privește comportamentul conducătorilor auto și capabilitățile tehnice ale vehiculelor au fost luate în considerare prin măsurători efectuate recent.

Pentru drumurile cu mai multe benzi pe sens, conducătorul auto ia în considerare nu numai vehiculele din față, ci și vehiculele de pe benzile adiacente. Mai mult, se prevede un semnal de control la cca 100 m înainte de linia de stop cu scopul de crește atenția conducătorului auto.

Programul Vissim simulează fluxurile rutiere prin mișcările entităților conducător auto–vehicul pe rețeaua rutieră. Fiecare conducător auto, cu caracteristicile sale comportamentale, este asociat unui vehicul. Ca urmare, comportamentul de conducere al conducătorului auto corespunde capacităților tehnice ale vehiculului său.

Atributele care caracterizează fiecare unitate de conducător auto–vehicul poate fi împărțită în următoarele trei categorii:

1. *Specificația tehnică a vehiculului*, de exemplu:

- lungimea vehiculului;
- viteza maximă;
- accelerația maximă,

ca și:

- poziția curentă a vehiculului în rețea;
- valorile reale ale vitezei și accelerației vehiculului.

2. *Comportamentul unităților de conducător auto-vehicule*, de exemplu:

- praguri ale percepției psiho-fizice ale conducătorului auto: capacitatea de a estima, percepția securității, disponibilitatea de a-și asuma riscuri;
- memoria conducătorului auto;
- accelerarea bazată pe viteza curentă și viteza dorită de conducător.

3. *Interdependența unităților de conducător auto-vehicule*, de exemplu:

- referirea la autovehiculele din față și vehiculele din urmă și la vehiculele adiacente;
- referirea la segmentul de rețea utilizat în prezent și la nodul următor;
- referirea la semnalul de trafic următor,

Modelul Wiedemann a fost dezvoltat ulterior prin lucrarea [Wiedemann, R., 1991]: *Modeling of RTI-Elements on multi-lane roads*.

În modelul Wiedemann se consideră că, date fiind condițiile de trafic, există 4 moduri diferite de conducere:

• **Conducere liberă:** conducătorul auto nu este influențat de vehiculul precedent, el caută să atingă și să mențină viteza dorită. Dar va exista o variație în jurul vitezei dorite, datorată controlului imperfect exercitat de conducătorul auto asupra clapetei de accelerație.

• **Apropierea de vehiculul din față:** conducătorul auto adaptează viteza sa la viteza mai mică a vehiculului ce îl precede: în timp ce se apropie, el decelerează, astfel încât nu mai există diferență între viteze atunci când el atinge distanța de siguranță.

• **Urmărire:** conducătorul auto urmează vehiculul precent, decelerând sau accelerând inconștient. El păstrează distanța de siguranță mai mult sau mai puțin constant, viteza variind în jurul vitezei medii de deplasare.

• **Frânare:** brusc conducătorul auto frânează cu decelerații medii spre mari când distanța față de vehiculul precedent scade brusc, ca urmare a frânării bruște a acestuia sau a imixtionării unui al treilea vehicul între cele două după un proces de depășire.

Pentru fiecare dintre cele patru stări de conducere, accelerația este descrisă ca urmare a vitezei curente, diferența de viteză, distanța față de vehiculul precedent, precum și a caracteristicilor individuale ale conducătorului și ale vehiculului.

Conducătorii auto trec de la o stare la alta, de îndată ce se atinge un anumit prag, care poate fi descris ca o funcție de diferența de viteză și de distanța dintre vehicule.

5.4. Aplicație: microsimularea traficului rutier în zona centrală a municipiului Pitești cu softul Vissim

Simularea microscopică, numită și microsimulare, presupune simularea individuală a fiecărei entități: vehicule, trenuri, persoane etc.

Acest lucru este realizat prin introducerea tuturor datelor de intrare ale acestora în sistem, precum și definirea interacțiunilor dintre entități. Opusul ar fi simularea macroscopică în care descrierea realității este permutată de la descrierea individuală a fiecărei entități la descrierea globală, principalele date de intrare fiind debitele și densitățile de trafic.

Scopul aplicației îl constituie identificarea posibilităților de rezolvare a problemelor de trafic din zona centrală a municipiului Pitești – de la îmbunătățirea ciclurilor de semaforizare a intersecțiilor la propunerea de redirecționare a unor fluxuri de trafic în afara zonei analizate.

De asemenea, aplicația realizată cu acest program va permite vizualizarea unor animații 3D ale traficului rutier la nivelul întregii zone analizate - foarte utilă în ilustrarea problemelor de trafic pentru administratorii circulației rutiere în municipiul Pitești, ca și pentru public, în general.

Aplicația constă într-o microsimulare a circulației rutiere în zona centrală (pentru care a fost realizat un film de 3 min ce prezintă animație 3D), ce cuprinde:

- două mari intersecții semaforizate (intersecția semaforizată de la Calea București și intersecția semaforizată de la Maior Șonțu) - intersecții ce au fost transpuse în programul Vissim atât din punct de vedere al amenajării intersecțiilor cât și al ciclurilor de semaforizare;
- trei intersecții în sens giratoriu cu 3 brațe: Podul Viilor, Rectorat și Centrul de diagnostic;
- arterele rutiere care leagă aceste principale noduri ale rețelei rutiere din zona centrală.

Etapele urmate pentru realizarea microsimulării traficului în zona centrală a municipiului Pitești cu programul Vissim sunt prezentate succint în continuare și evidențiate prin capturi de ecran:

- 1) *Încărcarea imaginii de fundal cu harta rutieră a zonei analizate, peste care se vor formaliza arterele rutiere și intersecțiile rutiere.*
- 2) *Realizarea arterelor rutiere (prin comanda „Links”).*
- 3) *Definirea parametrilor fiecărei artere proiectate (numărul de benzi pe sens, lungimea, lățimea benzilor, tipul de comportament al șoferilor, marcajele dintre benzi - linie continuă, linie întreruptă, categoria vehiculelor ce nu au dreptul să circule pe artera respectivă etc).*
- 4) *Realizarea conexiunilor dintre benzi (se introduc următorii parametri: originea și destinația conectorului – definirea celor două benzi care se leagă, lungimea conectorului, numărul de puncte de inflexiune, comportamentul conducătorilor auto, etc.*
- 5) *Formalizarea circulației pietonilor (se realizează aleile pe care circulă pietonii, precum și trecerile de pietoni).*
- 6) *Precizarea valorilor pentru fluxurile orare de intrare (atât pentru vehicule cât și pentru pietoni) și a compoziției traficului (tipurile de vehicule: camioane, autobuze, autoturisme etc).*

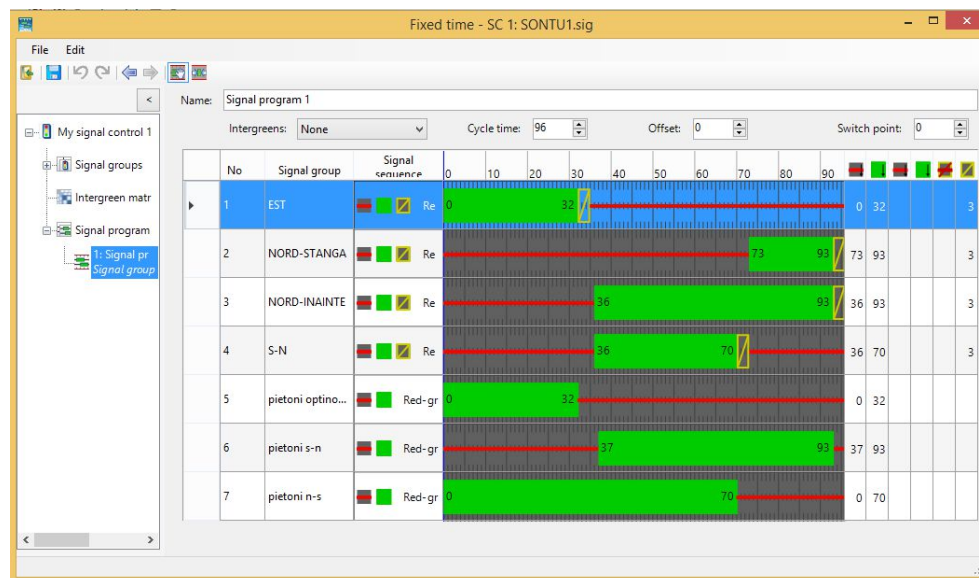
7) Rutarea vehiculelor (procentul de vehicule care circulă pe diversele direcții: la dreapta, înainte, la stânga...).

8) Dirijarea traficului (reglementarea zonelor de conflict și setarea priorităților de trecere).

9) Semaforizarea intersecțiilor (definirea semafoarelor și a timpilor de roșu/verde, atât pentru vehicule cât și pentru pietoni):

9a) Intersecția semaforizată Maier Şonţu:

- Definirea semafoarelor;
- Poziționarea semafoarelor;
- Introducerea timpilor de semaforizare (timpul ciclului de semaforizare, timpii de roșu, de galben și de verde).



9b) Intersecția semaforizată Calea București:

- Definirea semafoarelor;
- Poziționarea semafoarelor;
- Introducerea timpilor de semaforizare (timpul ciclului de semaforizare, timpii de roșu și de verde).

10) Realizarea de capturi de ecran (printscreen-uri) cu intersecțiile în format 2D (bidimensional) sau format 3D (tridimensional).

10a) – intersecția Calea București - format 2D;

10b) – intersecțiile Maier Şonţu și Târgul din Vale - format 2D.

10c) – intersecția Calea București - format 3D.

10d) – intersecția Maier Şonţu - format 3D.



Rezultatele microsimulării se regăsesc în raportul generat, ca date de ieșire. Pentru intersecții, acestea pot fi:

- lungimea șirurilor de așteptare [veh/bandă];
- întârzierea medie / vehicul [s/veh];
- viteza medie de tranzitare [km/h];
- numărul mediu de opriri pe vehicul;
- nivelul de serviciu, LOS;
- numărul total de vehicule ce trec prin intersecție [veh/h].

De asemenea, raportul poate oferi și date despre condițiile de circulație oferite de intersecție, așa cum ar fi numărul zonelor de conflict.

Utilizarea aplicației create necesită măsurarea fluxurilor orare de intrare în intersecții și identificarea proporției fluxurilor pe diversele direcții. *Este important de precizat că, pentru intersecțiile în sens giratoriu, aceste date de intrare (proporțiile în care fluxurile de intrare de pe fiecare braț se distribuie pe diversele direcții de mers) pot fi obținute cu exactitate numai prin metoda analitică proiectată, utilizând programul de calcul realizat special în limbajul Java.*

Cu aplicația realizată se poate rula programul de microsimulare Vissim pentru zona centrală a municipiului Pitești, iar rezultatele obținute pe această cale virtuală pot fi comparate cu rezultatele obținute printr-o măsurătoare reală a traficului pentru eventuala calibrare și, apoi, validare a modelului.

După introducerea în aplicație a datelor de trafic măsurate, se generează raportul Vissim, care conține valorile mărimilor ce caracterizează circulația rutieră - între care, pentru evaluarea zgomotului rutier, prezintă interes: lungimea șirurilor de așteptare, viteza medie de tranzitare, numărul mediu de opriri pe vehicul, numărul total de vehicule ce trec prin intersecție.

5.5. Concluzii. Propuneri de reorganizare a circulației rutiere

Pentru intersecția semaforizată Maior Șonțu – Târgul din Vale, la care capacitatea este cu mult depășită de cererea de trafic la orele de vârf (de trafic) pe brațul dinspre Rectorat (de pe cele două benzi pentru virajul spre stânga), dar nu și pentru întreaga intersecție, unde s-a constatat prin observații recente că solicitarea totală este sensibil mai mică decât capacitatea, s-a impus aplicarea unei metode alternative de evaluare a capacității intersecției, pe baza raportului debit-capacitate, luând în calcul valorile maxime ale fluxului de trafic pentru fiecare grup de benzi (vârfurile de trafic).

Astfel, observațiile realizate pentru toate fazele ciclului de semaforizare din intersecție au evidențiat faptul că apare congestia numai pe fluxul dinspre Rectorat, în timp ce pentru celelalte mișcări de trafic cererea de trafic este sub 80% din capacitate.

Ca urmare, propunerea unică ce a putut fi avansată în scopul atenuării acestei situații a fost creșterea duratei de verde pentru mișcarea de trafic respectivă cu 10 s (33%), în detrimentul celorlalte faze de verde.

În ceea ce privește a doua intersecție în sens giratoriu ce crează același gen de problemă, intersecția B-dul I.C. Bratianu – Calea București, lucrurile sunt similare, astfel că și în acest caz singura propunere posibilă a fost creșterea duratei de verde pentru mișcarea de trafic deficitară - pe banda 1 de pe sensul Nord-Sud (pe direcția înainte), în detrimentul celorlalte faze de verde.

În concluzie, rezolvarea (parțială, numai) a problemelor de trafic din cele două intersecții semaforizate din zona centrală se poate obține prin adaptarea ciclurilor de semaforizare la structura fluxurilor de trafic din perioadele de vârf: creșterea duratei de verde pentru mișcarea de trafic unde capacitatea s-a dovedit insuficientă și reducerea celorlalte faze de verde de la mișcările de trafic unde există un exces de capacitate.

În ceea ce privește *intersecțiile în sens giratoriu* din zona centrală a municipiului Pitești, s-au obținut următoarele concluzii:

- pentru cele două intersecții de la Centrul de Diagnostic și de la Rectorat s-a demonstrat că dacă vor fi rezolvate complet problemele de trafic în intersecțiile semaforizate din proximitate se va obține îmbunătățirea nivelului de serviciu al acestor intersecții și, deci, problemele de trafic din aceste intersecții vor dispărea;

- singura intersecție în sens giratoriu care din cauze ce țin de ea însăși nu are un nivel de serviciu suficient de mare este intersecția de la Podul Viilor, care a apărut de curând, ca o componentă a complexei amenajări rutiere ce include calea rutieră supratrană de lângă podul de cale ferată.

Analizele teoretice cu privire la capacitatea intersecțiilor în sens giratoriu relevă faptul că prin reducerea volumelor de conflict se obține creșterea capacității pe brațele intersecției.

Aceste observații conduc la concluzia că pentru intersecțiile mari (cu multe benzi pe calea circulară) și cu fluxuri cvasieegale pe brațe se poate obține creșterea capacității lor prin transformarea acestora în intersecții în sens giratoriu semaforizate, când timpii de acces se reduc la maxim, deoarece nu mai apar fluxuri de conflict, deci nu mai este necesară asigurarea și cedarea priorității de către plutoanele de vehicule ce vor pătrunde pe faza de verde în intersecție.

Dar pentru intersecția de la Podul Viilor, în urma studiilor de trafic efectuate a rezultat că pentru rezolvarea problemei relevate (imposibilitatea vehiculelor de pe brațul Nord de a accede pe calea inelară în condiții de siguranță, dat fiind că vehiculele care circulă pe calea circulară din partea stângă - cărora trebuie să li se acorde prioritate de trecere - circulă foarte rapid și fără a respecta regulile de circulație în intersecția în sens giratoriu) se impune ca o primă soluție preselectarea circulației pe fiecare braț în funcție de direcția de urmat în intersecție, prin marcaje longitudinale vizibile.

La momentul actual, această propunere (realizarea marcajelor longitudinale) a fost deja pusă în practică de administrația locală a municipiului Pitești, însă o problemă care rămâne de rezolvat la nivelul zonei centrale a municipiului Pitești o constituie faptul că în unele perioade ale zilelor lucrătoare cererea de trafic depășește capacitatea rețelei rutiere.

Studiile realizate au demonstrat că nu mai există resurse pentru a mări capacitatea de circulație a rețelei rutiere centrale, așa că singura posibilitate de rezolvare a acestei probleme de trafic rămâne redirecționarea unei părți din traficul rutier astfel încât să ocolească zona centrală – așa cum se va prezenta în capitolele următoare.

În scopul identificării posibilităților de rezolvare a problemelor de trafic din zona centrală a municipiului Pitești – de la îmbunătățirea ciclurilor de semaforizare a intersecțiilor la propunerea de redirecționare a unor fluxuri de trafic în afara zonei analizate – a fost realizată cu programul Vissim o aplicație ce constă într-o microsimulare a circulației rutiere.

Utilizarea aplicației create necesită măsurarea fluxurilor orare de intrare în intersecții și identificarea proporției fluxurilor pe diversele direcții. *Pentru intersecțiile în sens giratoriu, aceste date de intrare (proporțiile în care fluxurile de intrare de pe fiecare braț se distribuie pe diversele direcții de mers) pot fi obținute cu exactitate numai prin metoda analitică proiectată, utilizând programul de calcul realizat special în limbajul Java.*

În baza cercetărilor realizate, o perspectivă de mare interes este identificarea posibilităților prin care într-o proporție cât mai ridicată traficul rutier având ca origine Calea Depozitelor sau podul de peste Argeș și ca destinație intersecția semaforizată Maior Șonțu să urmeze traseul dintre calea ferată și râul Argeș (reprezentat în culoare neagră în fig. 5.11), astfel încât să se reducă solicitarea intersecției în sens giratoriu Podul Viilor și să fie ocolită zona rezidențială constituită din cartierul Popa Șapcă, în scopul reducerii poluării fonice.

În acest sens, prima propunere care a rezultat a fost direcționarea traficului greu prin indicatoare rutiere de obligare la dreapta: înainte de intersecția Podul Viilor, pentru vehiculele ce pătrund în oraș peste Podul Argeș; înainte de intrarea în intersecția Rectorat, pentru vehiculele ce acced dinspre Calea Craiovei prin intersecția Maior Șonțu.

O a doua preocupare este identificarea, pe baza modelelor de trafic și a formulelor propuse pentru determinarea pe cale analitică a curenților de trafic din intersecțiile în sens giratoriu, a posibilităților de a organiza circulația rutieră în zona centrală a municipiului Pitești astfel încât să se reducă solicitarea intersecției Maior Șonțu, unde încă nu este eliminat fenomenul de congestie rutieră.

Dacă în ceea ce privește intersecția în sens giratoriu Podul Viilor, așteptările ca aplicarea propunerilor deja formulate să conducă la eliminarea fenomenului de congestie rutieră s-au îndeplinit (ca urmare a semnalizării adecvate pe orizontală a întregii intersecții – realizată recent de Primăria Pitești în urma propunerilor formulate), problema congestiei rutiere la orele de vârf pe brațul Est al intersecției semaforizate Maior Șonțu va necesita o rezolvare mult mai complexă, pentru a se alege cea mai bună și cea mai durabilă (în perspectiva unui trafic rutier tot mai intens) dintre cele două posibile soluții: fie o altă amenajare a acestei intersecții, eventual cu circulația reglementată în sens giratoriu, prin care să se mărească sensibil capacitatea acesteia, fie reorientarea unei părți din fluxurile rutiere care pătrund în această intersecție pe una din cele 3 căi reprezentate în fig. 5.11.

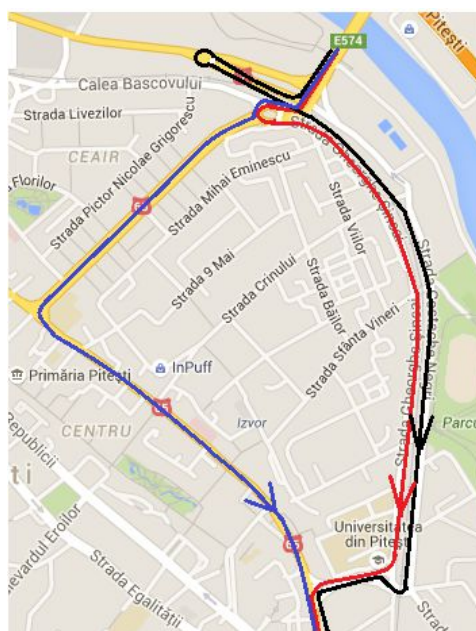


Fig. 5.11. Cele 3 rute alternative pentru traseul Podul Viilor – intersecția Maior Șonțu.

Măsurătorile realizate în cadrul cercetărilor prezentate - având în vedere capacitatea limitată a acestei intersecții semaforizate, chiar în condițiile în care s-ar încerca adaptarea planului de semaforizare la vârful de trafic de pe brațul Est [Boroiu, A.A, 2015] sau chiar o altă amenajare a acestei intersecții, eventual cu circulația reglementată în sens giratoriu – au relevat faptul că intersecția semaforizată Maior Șonțu nu va putea oferi capacitatea necesară în perioadele de vârf de trafic.

Ca urmare, singura soluție viabilă, prin care se va elimina complet fenomenul de congestie rutieră în intersecția rutieră maior Șonțu este crearea condițiilor pentru redirecționarea unora dintre fluxurile de trafic, iar acest lucru se poate realiza prin amenajarea unui pasaj rutier peste calea ferată din cartierul Prundu (fig. 5.12), astfel încât să fie eliminate inconvenientele actuale (*“Tregerile la nivel cu calea ferată din Pitești reprezintă o problemă pentru șoferi. Atât momentele dese în care este pusă bariera (de 19 ori pe zi, dintre care cel mai lung interval de timp are 17 minute!), cât și starea jalnică a trecherilor...”* - <https://epitesti.ro/stiri/administrativ/20.02.2017>).

O parte importantă din traficul rutier – cel având ca destinație cartierul Prundu, cartierul Craiovei, cartierul Războieni, precum și zona periurbană din estul și sudul orașului (până la drumul DN 65) - va urma acesta traseu, descongestionându-se astfel zona centrală a municipiului Pitești

Această propunere urmează primele etape pentru a fi pusă în operă de Primăria Pitești: *“Este gata și studiul de fezabilitate pentru construirea unui pasaj rutier pe strada Lânăriei din cartierul Prundu, peste calea ferată... Pasajul ar urma să înceapă în strada Basarabiei, să treacă peste intersecția cu bulevardul Petrochimiștilor și peste calea ferată de pe strada Lânăriei. Lungimea totală a acestuia va fi de 447,8 metri. Prin construirea pasajului s-ar elimina timpii de așteptare la bariera de la calea ferată de pe strada Lânăriei, timp care de ani și ani de zile provoacă blocaje rutiere”* – [<http://www.primariapitesti.ro>].

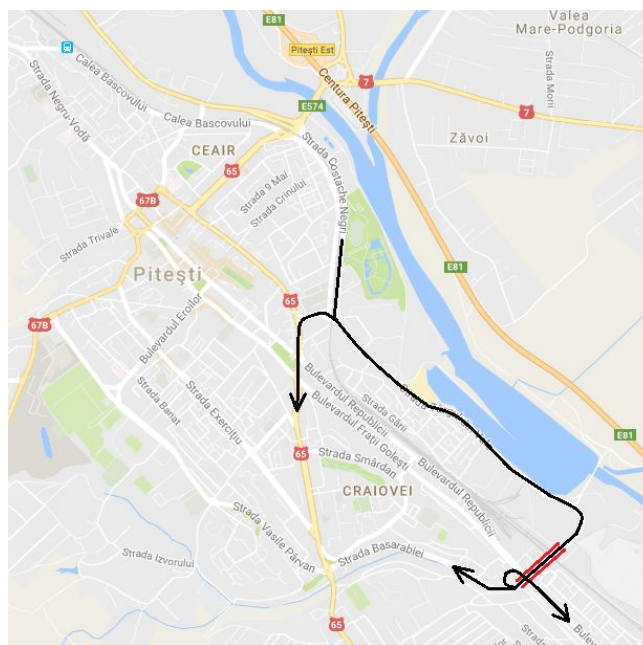


Fig. 5.12. Redirecționarea unei părți din traficul rutier prin amenajarea pasajului Prundu.

Soluțiile prezentate mai sus cu privire la reorganizarea circulației rutiere vor fi luate în calcul la estimarea poluării fonice în zona centrală a municipiului Pitești, pentru evaluarea gradului în care se reduce poluarea produsă de traficul rutier în noile condiții.

Cap. 6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND REDUCEREA POLUĂRII FONICE PRODUSE DE AUTOVEHICULE PRIN ORGANIZAREA CIRCULAȚIEI RUTIERE. STUDIU DE CAZ PENTRU MUNICIPIUL PITEȘTI

6.1. Cercetări anterioare cu privire la zgomotul generat de traficul rutier în municipiul Pitești

Pentru a evalua cât mai exact nivelul poluării sonore generate de traficul rutier prezintă interes însumarea zgomotelor emise de toate autovehiculele participante la trafic. Studiul zgomotului de trafic se realizează utilizând o serie de indici fizici și psihofizici care exprimă gradul de disconfort [Pârlac, 2008].

Indicii fizici și psihofizici se determină din histogramele frecvențelor absolute și histogramele cumulate (fig. 6.2) obținute cu ajutorul datelor măsurate experimental și prelucrate statistic.

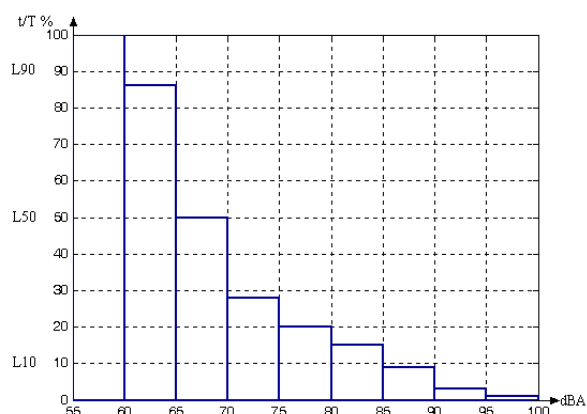


Fig. 6.2. Histograma cumulată a nivelului de zgomot.

În figura 6.3 este prezentat punctul în care măsurătorile de zgomot efectuate anterior dărilor în funcțiune a centurii rutiere Pitești au evidențiat un nivel de zgomot foarte ridicat, pe B-dul Petrochimistilor – explicația fiind prezența în trafic a autocamioanelor.

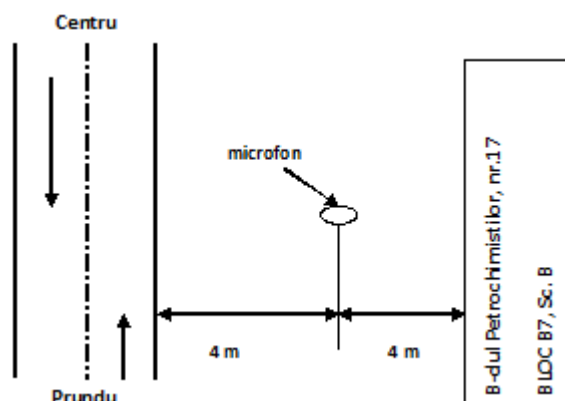


Fig. 6.3. Punctul 1 de măsurare a nivelului de zgomot.

Variația nivelului de zgomot în funcție de timp este prezentată în fig. 6.4. Se observă un maxim de 81 dB(A) și o valoare medie cuprinsă între 67 și 75 dB(A).

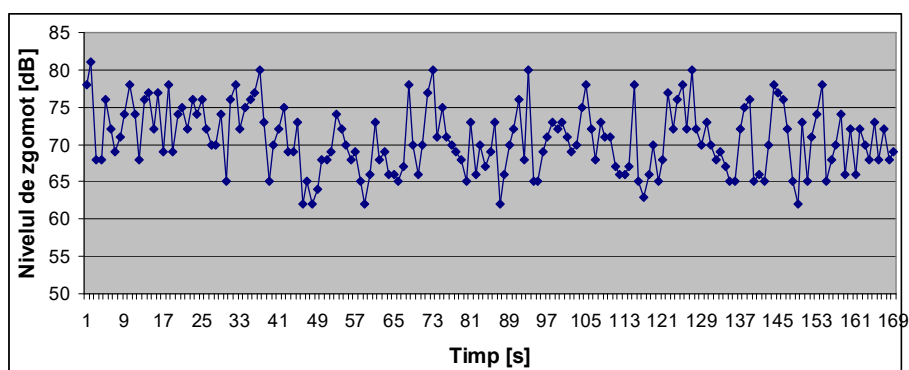


Fig. 6.4. Nivelul de zgomot în punctul 1 de măsurare.

Având în vedere că la cca un an s-a dat în folosință centura ce continuă autostrada A1, care a preluat în totalitate traficul greu de tranzit, aceasta problemă a dispărut.

Alte măsurători efectuate pe această arteră rutieră principală au relevat valori de zgomot ridicate și în apropierea intersecțiilor semaforizate, ceea ce confirmă necesitatea unor măsuri pentru fluidizarea traficului de-a lungul întregii artere longitudinale a orașului.

6.2. Evaluări actuale ale zgomotului generat de traficul rutier în municipiul Pitești

Actualmente, în acord cu evoluția echipamentelor IT, a apărut o nouă generație de echipamente de măsură, având încorporate calculatoare și operând cu soft-uri dedicate măsurării și analizei zgomotului rutier. Astfel, a apărut conceptul de *sistem integrat de evaluare a zgomotului rutier*, prezentat în continuare [Timar, 2010].

A devenit posibil ca măsurătoarea să se efectueze și cu înregistrare sonoră (login) pentru a permite eliminarea vârfurilor mari ce apar în timpul măsurătorii, la trecerea unui vehicul singular. Aceste vârfuri de date, ce pot fi vizualizate și eliminate după descărcarea pe un calculator, vor modifica nivelul de zgomot echivalent. În cazul folosirii doar a datelor brute, fără o prelucrare ulterioară a rezultatelor măsurării nivelului de zgomot, vor exista și valori de vârf, mai mari, care afectează rezultatul.

Astfel, conceptul de sistem integrat realizează următoarele funcții (fig. 6.9): cartografiere de precizie; monitorizare; măsurare; administrare, comunicare.

În ceea ce privește echipamente de măsurare a nivelului de zgomot utilizate pentru realizarea cercetărilor practice, trebuie precizat că în laboratul de Zgomote și Vibrații există echipamente moderne pentru a realiza de zgomot, echipamente pe care le-am utilizat la realizarea măsurătorilor de zgomot de trafic – prezentate în continuare.

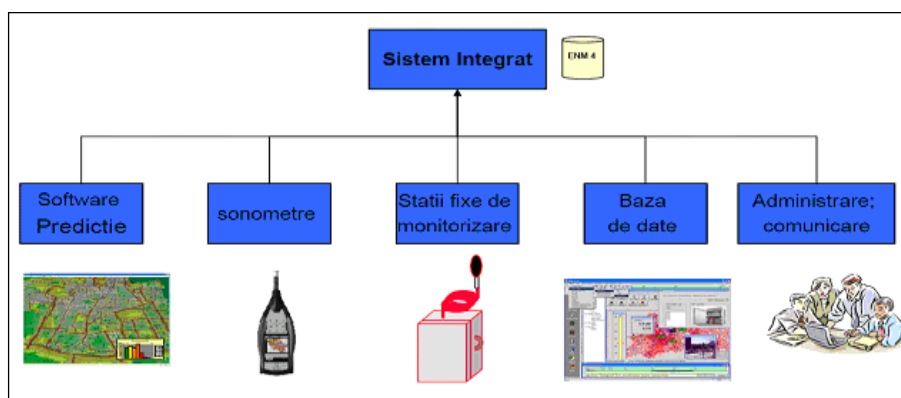


Fig. 6.9. Conceptul de sistem integrat [Timar, 2010].

Sonometru acustic portabil

Sonometrul este un aparat portabil care servește la măsurarea nivelului de presiune acustică. Are un răspuns față de sunet ca și răspunsul urechii umane (filtru de ponderare A), dar poate efectua și măsurări obiective și reproductibile ale nivelului de presiune acustică (fig. 6.10). Microfoanele folosite în măsurători de zgomot sunt de tip condensator.



Fig. 6.10. Instalarea și utilizarea sonometrului pentru măsurarea zgomotului.

Sonometrul LD 831 (Sonometru portabil Digital Clasa I) este un sonometru digital de mare precizie a cărei funcționare este controlată de către un microprocesor și este încadrat în clasa 1 de precizie, conform standardelor IEC 651 și IEC 804. Sonometrul LD 831 prezintă caracteristicile tehnice următoare [<http://www.larsondavis.com>]:

- Curbe de ponderare: A B C, liniar sau în treimi de octavă (16Hz-20kHz);
- Măsurarea nivelului de vârf: < 50 ms;
- Intervalul de măsurare: 0,125 s – 12 h.

Înainte de deplasarea la locul măsurătorilor s-a realizat calibrarea echipamentului de măsurare (cu sursa etalon de zgomot, pistonfonul, care emite un semnal etalon la frecvența de 1000 Hz cu nivel de presiune sonoră de 105,4 dBA), fiind necesară aplicarea unei corecții în funcție de presiunea atmosferică de -0,1 dB (fig.6.11) .

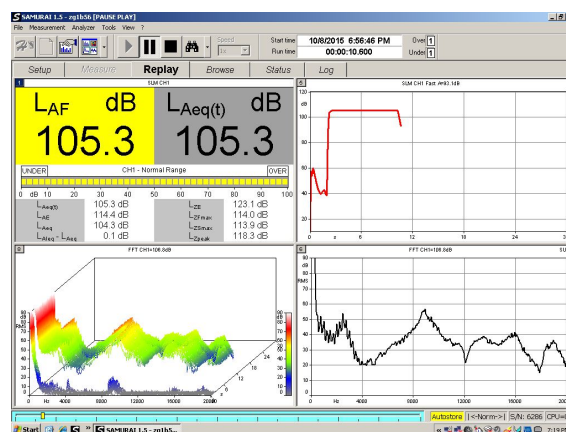


Fig. 6.11. Calibrarea echipamentului de măsurare a zgomotului.

Au fost realizate măsurători de zgomot (fig. 6.12) în intersecția semaforizată Maior Șonțu, într-o zi lucrătoare în jurul orei 17.30, când intensitatea traficului este maximă și pentru care există și măsurători de trafic realizate în aceeași perioadă de timp, utile pentru a analiza ulterior relațiile dintre traficul rutier și zgomotul rutier în zona respectivă.



Fig. 6.12. Măsurarea zgomotului cu sistemul integrat.

Diagramele obținute au fost apoi descărcate într-un document Word și analizate, rezultând o serie de observații și concluzii, prezentate în continuare.

6.3. Rezultate și concluzii în urma măsurătorilor efectuate

1. S-a putut evidenția faptul că zgomotul rutier în intersecția semaforizată are un caracter pulsatoriu, ca și fluxurile de vehicule care se formează - cu decelerări și accelerări ce contribuie la o creștere substanțială a nivelului de zgomot (fig. 6.13).

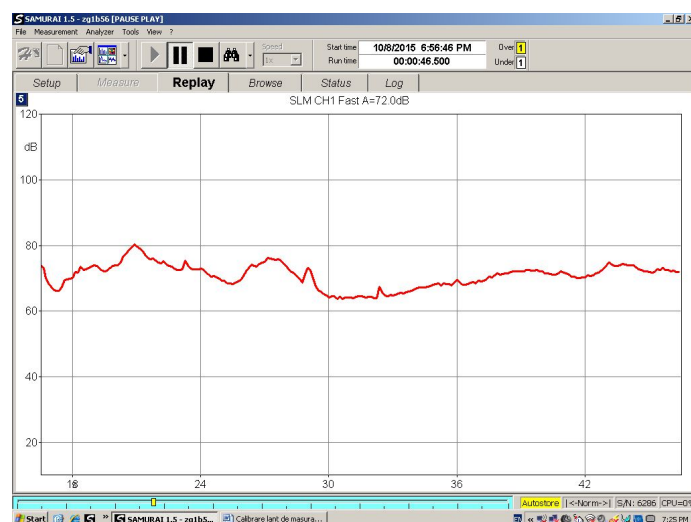


Fig. 6.13. Evoluția zgomotului rutier în timp – în concordanță cu traficul pulsatoriu.

2. Nivelul de zgomot (presiunea acustică) atinge valori ridicate, de 73,5 dB (fig. 6.14), ceea ce se explică prin procesele de frânare și accelerare și mai puțin prin prezența în trafic a vehiculelor grele.

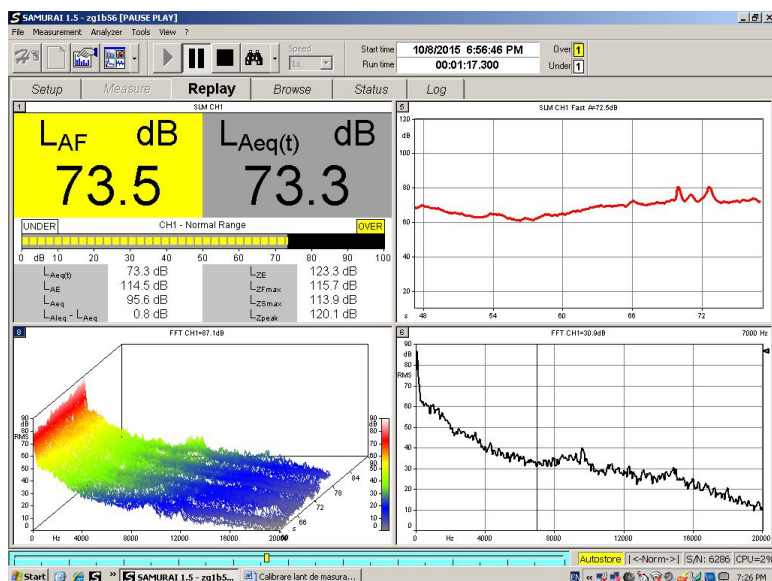


Fig. 6.14. Nivelul global de zgomot ridicat (73.5 dB).

4. Înregistrarea evidențiază prezența unui autocamion, care contribuie pe o perioadă relativ lungă de timp la creșterea nivelului de zgomot (fig. 6.16).

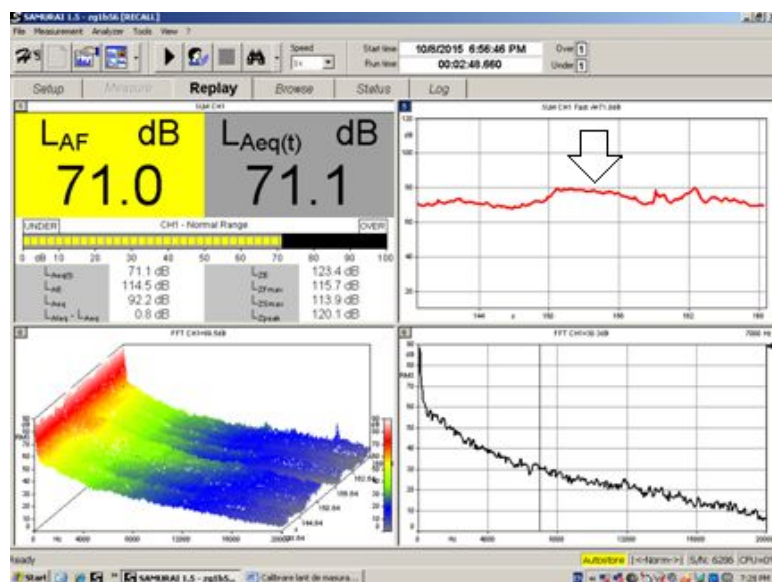


Fig. 6.16. Prezența zgomotului produs de un autocamion - surprinsă pe monitor.

Concluzia generală care rezultă în urma cercetărilor, teoretice și experimentale, realizate cu privire la zgomotul produs de traficul rutier, este că există posibilități de a evalua destul de fidel zgomotul rutier, de a-l modela cu cele mai potrivite modele matematice – atât din punct de vedere al complexității cât și al reprezentativității pentru specificul fiecărei situații întâlnite - astfel încât să se poată realiza o îmbunătățire a nivelului de zgomot prin organizarea cât mai bună a circulației rutiere.

6.4. Evaluarea zgomotului rutier în zona centrală a municipiului Pitești

Pentru a identifica modul în care traficul rutier determină poluarea fonică este necesar ca măsurătorile de zgomot să pună în evidență, în afară de indici fizici ai zgomotului rutier (care sunt determinați numai de caracteristicile fizice ale zgomotului rutier), și o serie de indici psiho-fizici (care caracterizează și modul de percepție a zgomotului).

Aceștia au fost determinați printr-o serie de măsurători realizate în 3 din cele mai importante intersecții din zona centrală a municipiului Pitești: intersecția semaforizată Maier Șonțu; intersecțiile în sens giratoriu Podul Viilor și Rectorat (fig. 6.17).



Fig. 6.17. Cele 3 intersecții rutiere unde s-au efectuat măsurători de zgomot.

Măsurătorile au fost efectuate conform reglementărilor specifice măsurătorilor de zgomot rutier, în imediata apropiere a fluxurilor de vehicule din intersecții.

6.5. Evaluarea nivelului de zgomot în intersecția Mr. Șonțu – Tg. din Vale

6.5.1. Măsurarea zgomotului rutier

Măsurătorile au fost efectuate Joi 26 Mai 2016, în jurul orei 14.00 în intersecția semaforizată Maier Șonțu – Târgul din Vale, în imediata apropiere a fluxurilor de vehicule ce pătrund prin brațul Est în intersecție, pe trotuarul destinat trecerii pietonilor din intersecție, așa cum se prezintă în imaginile următoare.



S-a realizat înregistrarea continuă a zgomotului cu aparatura specifică măsurării zgomotului rutier (microfonul plasat la distanța și înălțimea prescrise de standard). Timpul total de înregistrare a zgomotului a fost de 10 minute (600 secunde).

Intervalul de eșantionare a zgomotului a fost de 0,125 secunde, ceea ce înseamnă o frecvență de eșantionare de 8 înregistrări pe secundă – frecvență suficient de ridicată pentru a considera înregistrarea continuă în timp.

Valorile obținute prin măsurare sunt reprezentate selectiv în tabelul următor, unde **LAF** (Level A filter Fast) este nivelul de zgomot instantaneu măsurat cu filtrul de pondere A (utilizat pentru poluarea acustică produsă de autovehicule), cu mediere rapidă a rezultatelor (fast – rapid, în lb. engleză).

Tab. 6.1. Valorile nivelului de zgomot LAF măsurate în timp de 10 minute în intersecția semaforizată str. Maior Șonțu – str. Târgul din Vale.

<i>Timp</i> [s]	<i>LAF</i> [dB]	<i>Timp</i> [s]	<i>LAF</i> [dB]	<i>Timp</i> [s]	<i>LAF</i> [dB]	<i>Timp</i> [s]	<i>LAF</i> [dB]	<i>Timp</i> [s]	<i>LAF</i> [dB]	<i>Timp</i> [s]	<i>LAF</i> [dB]
0.125	67.8	1.125	67.6	2.125	67.1	3.125	67.5	...	...	599.125	63.2
0.250	67.2	1.250	67.2	2.250	67.1	3.250	67.2	...	...	599.250	63.5
0.375	67.1	1.375	66.9	2.375	66.9	3.375	67.1	...	...	599.375	63.7
0.500	67.1	1.500	67.2	2.500	66.5	3.500	67.7	...	...	599.500	63.8
0.625	67.2	1.625	66.6	2.625	66.4	3.625	68.2	...	...	599.625	63.6
0.750	67.0	1.750	66.7	2.750	66.8	3.750	68.5	...	...	599.750	63.6
0.875	67.3	1.875	67.0	2.875	66.9	3.875	68.3	...	...	599.875	63.8
1.000	67.2	2.000	67.2	3.000	67.0	4.000	68.3	...	...	600.000	63.9

6.5.2. Prelucrarea rezultatelor

Ordonând crescător valorile obținute și realizând o grupare a valorilor pe intervale cu mărimea de 2 dB, cu ajutorul programului Matlab se poate realiza histograma distribuției valorilor LAF - fig. 3.1.

Se observă o imagine specifică repartiției normale (clopotul lui Gauss), dar și cu valori ale nivelului de zgomot ce exced distribuția normală în domeniul valorilor superioare (la o estimare vizuală, există valori cu cca 4...6 deviații standard peste medie).

Prelucrarea rezultatelor obținute a constat în determinarea indicatorilor fizici și psihofizici pentru distribuția de valori ale nivelului de zgomot obținută în urma realizării măsurărilor. Pentru simplificare, s-a utilizat notația uzuală L pentru nivelul de zgomot.

S-au determinat **indicatorii fizici ai zgomotului măsurat**: L_{10} [dB(A)], L_{50} [dB(A)], L_{90} [dB(A)], care reprezintă nivelurile de zgomot depășite în 10%, 50%, respectiv 90% din totalul timpului de măsurare (care în acest caz este de 10 minute, ceea ce înseamnă că se vor determina nivelurile de zgomot depășite în 1 minut, 5 minute, respectiv 9 minute din totalul de 10 minute cât au durat măsurătorile). Aceste valori sunt cuantile ale nivelului de zgomot (de 10%, 50% și 90%), astfel că indicatorii sunt de tip statistic.

Pentru aceasta, în tabelul ordonat crescător al valorilor măsurate se identifică cele 3 valori precizate:

- pentru $t = 1 \text{ min} = 60,000 \text{ secunde}$: $L_{10} = 73,1 \text{ dB}$;
 - pentru $t = 5 \text{ min} = 300,000 \text{ secunde}$: $L_{50} = 68,6 \text{ dB}$;
 - pentru $t = 9 \text{ min} = 540,000 \text{ secunde}$: $L_{90} = 65,5 \text{ dB}$.
- În plus, se identifică valorile extreme: $L_{\min} = 62,1 \text{ dB}$; $L_{\max} = 91,9 \text{ dB}$.

Acești indicatori statistici pot fi evidențiați (cu o precizie redusă firesc, din cauza grupării datelor pe intervale) pe histograma cumulată (fig. 6.19) sau pe graficul liniar al frecvențelor cumulate ale nivelului de zgomot.

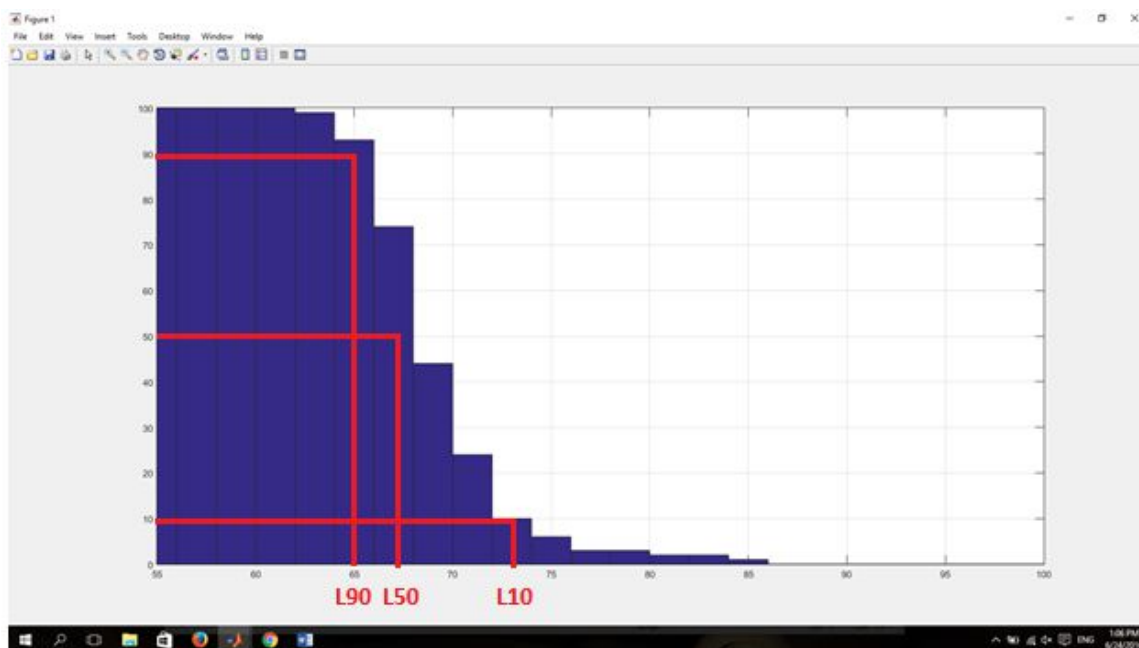


Fig. 6.19. Histograma cumulată a nivelului de zgomot instantaneu și indicii fizici ai zgomotului măsurat (L_{10} , L_{50} , L_{90}).

Climatul de zgomot c caracterizează variația nivelului de zgomot și este definit ca diferență între cuantilele de 10% și 90% ale nivelului de zgomot:

$$c = L_{10} - L_{90} = 73,1 - 65,5 = 7,6 \text{ dB} \quad (6.7)$$

Pe baza celor 3 cuantile ale nivelului de zgomot (L_{10} , L_{50} , L_{90}), sau pe baza cuantilei de 50% a nivelului de zgomot (mediana nivelului de zgomot), L_{50} , și a climatului de zgomot deja calculat, se determină **indicele psihofizic al nivelului de poluare acustică LNP**, care exprimă gradul de disconfort în legătură cu răspunsul subiectiv al omului la zgomot într-o perioadă determinată:

$$L_{NP} = L_{50} + c + \frac{c^2}{60} = 68,6 + 7,6 + \frac{7,6^2}{60} = 77,2 \text{ dB} \quad (6.8)$$

Indicele psihofizic al zgomotului de trafic TNI [dB(A)] exprimă gradul de disconfort provocat de un zgomot aleator și se determină statistic pe baza distribuției nivelului de zgomot măsurat, cu o anumită frecvență de eșantionare, într-o anumită perioadă de timp, cu relația de calcul următoare:

$$TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 = 4 \cdot c + L_{90} - 30 = 4 \cdot 7,6 + 65,5 - 30 = 65,9 \text{ dB} \quad (6.9)$$

Se observă că în relația de calcul o pondere însemnată o are climatul de zgomot, care caracterizează variabilitatea nivelului de zgomot (dat fiind că un zgomot cu o variație însemnată a nivelului este mai deranjant decât un zgomot cvasiconstant).

Nivelul mediu de zgomot L_m este media aritmetică a nivelului de zgomot, putând fi estimat prin relația statistică prezentată în [Boroiu A-A, Referatul 2, 2015] sau putând fi calculat direct cu relația cunoscută pentru media aritmetică pe baza histogramei frecvenței valorilor nivelului de zgomot (fig. 1), aceasta fiind o estimare mai precisă:

$$L_m = \frac{\sum_{i=1}^{15} f_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^{15} f_i} = \frac{144 \cdot 63 + 528 \cdot 65 + \dots + 6 \cdot 91}{4800} = 69,3 \text{ dB} \quad (6.10)$$

Valorile f_i și L_i au fost obținute din tabelul cu valorile nivelului de zgomot măsurate cu o frecvență de 8 măsurări/secundă, timp de 600 secunde, prezentate restrâns în tab. 1, după ce datele au fost ordonate crescător cu ajutorul programului Microsoft Excel.

Dar, se poate calcula și prin relația exactă din statistică, utilizând toate cele 4800 de valori din baza de date creată în fișierul Microsoft Excel:

$$L_m = \frac{\sum_{i=1}^{4800} L_i}{4800} = 69,29 \text{ dB}$$

La fel, **abaterea standard a nivelului de zgomot σ** poate fi estimată prin relația statistică (6.6), dar poate fi calculată mai precis, în baza relației:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{15} f_i \cdot (L_i - L_m)^2}{\sum_{i=1}^{15} f_i} = \frac{144 \cdot (63 - 69,3)^2 + 528 \cdot (65 - 69,3)^2 + \dots + 6 \cdot (91 - 69,3)^2}{4800} = 14,7 \text{ (dB)}^2 \quad (6.11)$$

de unde:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{14,7} = 3,8 \text{ dB} \quad (6.12)$$

Utilizând relația statistică, pe baza celor 4800 de valori din baza de date creată în fișierul Microsoft Excel, rezultă:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{4800} (L_i - L_m)^2}{4800} = 14,22 \text{ (dB)}^2 \quad (6.13)$$

de unde:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{14,22} = 3,77 \text{ dB} \quad (6.14)$$

Indicele psihofizic L_{ech} [dB(A)], care reprezintă energia medie evaluată (pondere A) a unui nivel de zgomot într-o anumită perioadă de timp, se calculează cu relația (6.1) prezentată mai înainte:

$$L_{ech} = 10 \cdot \frac{q}{3} \cdot \left| \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,3 \frac{L_i}{T}} \right|$$

unde :

- $T = \sum_{i=1}^n t_i$, durata unei înregistrări complete (10 minute sau 600 secunde);
- t_i, L_i ($i = 1, 2, \dots, n$), sunt intervale de timp (durata de timp pentru nivelul de zgomot L_i , ceea ce înseamnă, de fapt, frecvența acestui nivel), respectiv niveluri de zgomot (de fapt, valori ce corespund jumătăților intervalelor de timp) ;
- n , numărul de intervale folosite la realizarea histogramei (în acest studiu, $n = 15$ intervale de 2 dB(A), domeniul de valori fiind 62,1 ... 92,0);
- q , constantă de ponderare, $q = 4$ pentru zgomotul de trafic.

Indicatorul a fost calculat automat prin soft-ul dedicat pentru analiza zgomotului, valoarea acestuia fiind: **$LA_{eq} = 72,7 \text{ dB}$** . Este o valoare mai mică decât cea măsurată anterior, la orele 17.30 (73,5 dB), ceea ce se explică prin faptul că, deși capacitatea brațului Est este excedată de cererea de trafic în ambele situații, la orele 14.00 este mai redusă proporția vehiculelor grele în structura traficului.

6.6. Evaluarea nivelului de zgomot în intersecția Calea București – Calea Bascovului (Podul Viilor)

6.6.1. Măsurarea zgomotului rutier

Măsurătorile au fost efectuate Marți 21 Iunie 2016, în jurul orei 16.30 în intersecția în sens giratoriu Calea București – Calea Bascovului, conform reglementărilor specifice măsurătorilor de zgomot rutier, pe trotuar, în imediata apropiere a fluxurilor de vehicule din intersecție, pe trotuarul destinat trecerii pietonilor din intersecție, așa cum se prezintă în imaginile următoare.



6.6.2. Prelucrarea rezultatelor

Ordonând crescător valorile obținute și realizând o grupare a valorilor pe intervale cu mărimea de 2 dB, cu ajutorul programului Matlab s-a realizat histograma distribuției valorilor LAF.

Se observă o imagine specifică repartiției normale (clopotul lui Gauss), dar și cu valori ale nivelului de zgomot ce exced distribuția normală în domeniul valorilor superioare.

Au fost determinați **indicatorii statistici ai zgomotului măsurat**: L_{10} [dB(A)], L_{50} [dB(A)], L_{90} [dB(A)].

Pentru aceasta, în tabelul ordonat crescător al valorilor măsurate au fost identificate cele 3 valori precizate și valorile extreme ale distribuției:

- pentru $t = 1 \text{ min} = 60,000 \text{ secunde}$: $L_{10} = 70,4 \text{ dB}$;
- pentru $t = 5 \text{ min} = 300,000 \text{ secunde}$: $L_{50} = 66,4 \text{ dB}$;
- pentru $t = 9 \text{ min} = 540,000 \text{ secunde}$: $L_{90} = 64,0 \text{ dB}$.

În plus, au fost identificate valorile extreme: $L_{\min} = 60,8 \text{ dB}$; $L_{\max} = 84,8 \text{ dB}$.

Acești indicatori statistici pot fi identificați pe histograma cumulată sau pe graficul liniar al frecvențelor cumulate ale nivelului de zgomot.

Utilizând relațiile de calcul prezentate și explicate mai sus, au fost determinate valorile indicilor fizici și indicilor psiho-fizici ai zgomotului rutier:

• **Climatul de zgomot, c :**

$$c = L_{10} - L_{90} = 70,41 - 64,0 = 6,4 \text{ dB}$$

• **Indicele psihofizic al nivelului de poluare acustică, L_{NP} :**

$$L_{NP} = L_{50} + c + \frac{c^2}{60} = 66,4 + 6,4 + \frac{6,4^2}{60} = 73,5 \text{ dB}$$

• **Indicele psihofizic al zgomotului de trafic, TNI :**

$$TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 = 4 \cdot c + L_{90} - 30 = 4 \cdot 6,4 + 64,0 - 30 = 59,6 \text{ dB}$$

• **Nivelul mediu de zgomot, L_m :**

$$L_m = \frac{\sum_{i=1}^{4800} L_i}{4800} = 66,9 \text{ dB}$$

• **Abaterea standard a nivelului de zgomot, σ .**

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{4800} (L_i - L_m)^2}{4800} = 8,5 \text{ (dB)}^2$$

de unde:

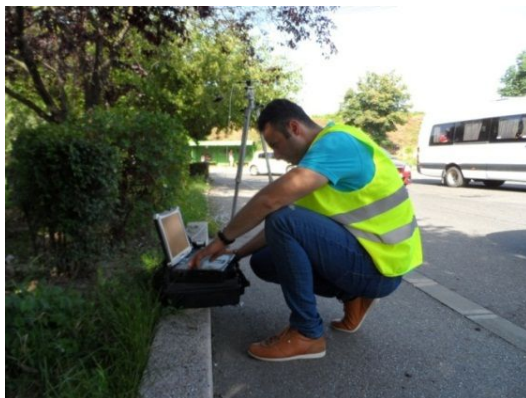
$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{8,5} = 2,9 \text{ dB}$$

• **Indicele psihofizic L_{ech}** a fost calculat automat prin soft-ul dedicat pentru analiza zgomotului și afișat pe display: **$LA_{eq} = 68,4 \text{ dB}$** .

6.7. Evaluarea nivelului de zgomot în intersecția str. Târgul din Vale – str. Gh. Șincai (Rectorat)

6.7.1. Măsurarea zgomotului rutier

Măsurătorile au fost efectuate Miercuri 22 Iunie 2016, în jurul orei 16.30 în intersecția în sens giratoriu str. Târgul din Vale – str. Gh. Șincai (Rectorat), conform reglementărilor specifice măsurătorilor de zgomot rutier, pe trotuar, în imediata apropiere a fluxurilor de vehicule din intersecție, așa cum se prezintă în imaginile următoare.



6.7.2. Prelucrarea rezultatelor

Ordonând crescător valorile obținute și realizând o grupare a valorilor pe intervale cu mărimea de 2 dB, cu ajutorul programului Matlab s-a realizat histograma distribuției valorilor LAF. Și în acest caz se observă o imagine specifică repartiției normale, dar și valori ale nivelului de zgomot ce depășesc distribuția normală în domeniul valorilor superioare.

Prelucrarea rezultatelor obținute a constat în determinarea indicatorilor fizici și psihofizici pentru distribuția de valori ale nivelului de zgomot obținută în urma realizării măsurătorilor. Ca și în cazurile anterioare, pentru simplificare s-a utilizat notația L pentru nivelul de zgomot.

Se determină **indicii fizici ai zgomotului măsurat**: L_{10} [dB(A)], L_{50} [dB(A)], L_{90} [dB(A)], și, pentru aceasta, în tabelul ordonat crescător al valorilor măsurate se identifică cele 3 valori precizate și valorile extreme ale distribuției:

- pentru $t = 1 \text{ min} = 60,000 \text{ secunde}$: **$L_{10} = 69,3 \text{ dB}$** ;
- pentru $t = 5 \text{ min} = 300,000 \text{ secunde}$: **$L_{50} = 66,0 \text{ dB}$** ;

• pentru $t = 10 \text{ min} = 600,000 \text{ secunde}$: $L_{90} = 63,1 \text{ dB}$.

În plus, se identifică valorile extreme: $L_{\min} = 60,9 \text{ dB}$; $L_{\max} = 93,7 \text{ dB}$.

Acești indicatori fizici pot fi identificați pe histograma cumulată (fig. 6.25) sau pe graficul liniar al frecvențelor cumulate ale nivelului de zgomot (fig. 6.26).

Utilizând aceleași relații de calcul de mai sus, se determină valorile indicilor fizici și indicilor psiho-fizici ai zgomotului rutier:

• **Climatul de zgomot, c :**

$$c = L_{10} - L_{90} = 69,3 - 63,1 = 6,2 \text{ dB}$$

• **Indicele psihofizic al nivelului de poluare acustică LNP:**

$$L_{NP} = L_{50} + c + \frac{c^2}{60} = 66,0 + 6,2 + \frac{6,2^2}{60} = 72,8 \text{ dB}$$

• **Indicele psihofizic al zgomotului de trafic TNI:**

$$TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 = 4 \cdot c + L_{90} - 30 = 4 \cdot 6,2 + 63,1 - 30 = 57,9 \text{ dB}$$

• **Nivelul mediu de zgomot L_m :**

$$L_m = \frac{\sum_{i=1}^{4800} L_i}{4800} = 66,20 \text{ dB}$$

• **Abaterea standard a nivelului de zgomot σ :**

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{4800} (L_i - L_m)^2}{4800} = 7,99 \text{ (dB)}^2$$

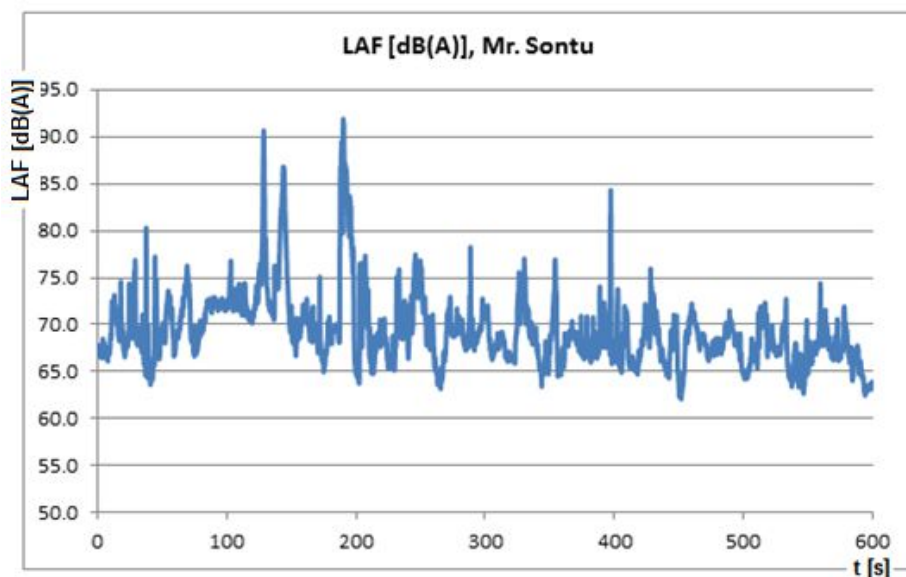
de unde:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{7,99} = 2,83 \text{ dB}$$

• **Indicele psihofizic L_{ech}** a fost calculat automat prin soft-ul dedicat pentru analiza zgomotului și afișat pe display: **$LA_{eq} = 68,1 \text{ dB}$** .

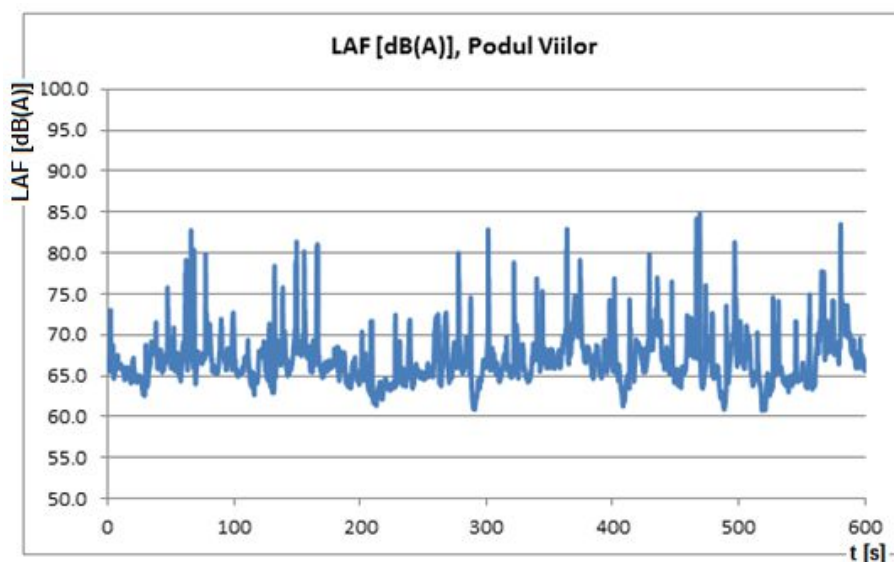
6.8. Sinteza și analiza rezultatelor obținute prin măsurătorile de zgomot

Pe baza valorilor măsurate timp de 10 minute (600 secunde) cu o frecvență de eșantionare de 8 măsurători/secundă (la intervale de 0,125 secunde) se pot realiza graficele nivelului de zgomot LAF cu ajutorul programului Microsoft Excel, prezentate în continuare.

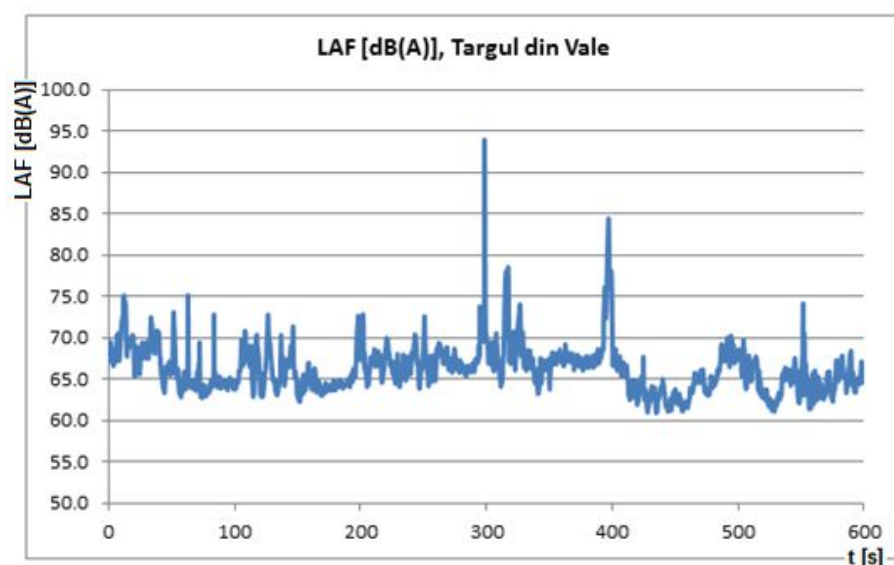


În cazul intersecției Maior Șonțu se observă o anumită ciclicitate, care corespunde cu circulația intermitentă ce se produce pe fiecare grup de benzi, aceasta fiind o intersecție semaforizată.

Vârfurile de zgomot se explică prin prezența autovehiculelor mari (autogunoiere, autobetoniere, autobuze), care au o contribuție majoră la zgomotul rutier, foarte mult la pornirea de pe loc, dar chiar și în timp ce așteaptă semnalul Verde al semaforului.



În cazul intersecției în sens giratoriu Podul Viilor, unde zgomotul măsurat este produs de fluxul de intrare (vehicule care circulă fluent, în regim mediu de accelerare) și de fluxul de conflict (vehicule ce se deplasează cu viteză constantă) se observă suprapunerea a două distribuții de valori ale zgomotului: o distribuție cu valori medii de 70-75 dB(A) și cu vârfuri de zgomot în jur de 80 dB (A), respectiv o distribuție mai puțin extinsă, cu valori medii de 65-70 dB(A).



În cazul intersecției în sens giratoriu Târgul din Vale, unde s-a circulat în regim “stop and go” cu accelerații mici și unde compoziția traficului a inclus într-o proporție mică și autovehicule grele, zgomotul măsurat prezintă valori medii în intervalul 65-70 dB(A), dar

spre finalul intervalului de măsurare aceste valori au coborât chiar, în intervalul 60-65 dB(A), ceea ce se explică prin observația că din acel moment congestia rutieră a început să se reducă (se trecea de vârful de trafic).

Se observă și câteva vârfuri ale nivelului de zgomot, dintre care cel puțin două constituie valori aberante de fapt, căci corespund unor “saluturi” exprimate cu ajutorul claxonului către echipa ce realiza măsurători de zgomot (în mod normal nu se întâmplă așa ceva, așa că ele trebuie excluse din calcul).

Pentru o analiză comparativă a rezultatelor obținute prin măsurătorile de zgomot din cele 3 intersecții rutiere, aceste rezultate sunt prezentate în tabelul sinoptic următor.

Tab. 6.4. Valorile indicilor de zgomot pentru cele 3 intersecții rutiere.

Nr. crt.	Indice zgomot	Maior Șonțu	Podul Viilor	Rectorat
1	$L_{\min}$ [dB(A)]	62,1	60,8	60,9
2	L_{90} [dB(A)]	65,5	64,0	63,1
3	L_{50} [dB(A)]	68,6	66,4	66,0
4	L_{90} [dB(A)]	73,1	70,4	69,3
5	$L_{\max}$ [dB(A)]	91,9	84,8	93,7 (78,6 după eliminarea celor 2 semnale sonore aberante)
6	Climatul de zgomot, c [dB(A)] $c = L_{10} - L_{90}$	7,6	6,4	6,2
7	Indicele psihofizic al nivelului de poluare acustică LNP [dB(A)] $L_{NP} = L_{50} + c + \frac{c^2}{60}$	77,2	73,5	72,8
8	Indicele psihofizic al zgomotului de trafic TNI [dB(A)] $TNI = 4 \cdot c + L_{90} - 30$	65,9	59,6	57,9
9	Nivelul mediu de zgomot L_m [dB(A)]	69,3	66,9	66,2
10	Abaterea standard a nivelului de zgomot σ [dB(A)]	3,8	2,9	2,8
11	Indicele psihofizic L_{ech} [dB(A)] $L_{ech} = \frac{10q}{3} \left \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{0,3L_i}{T}} t_i \right $	72,7 (apropiată de 73,5 dB(A) în data de Luni 07.12.2015,)	68,4	68,1

6.9. Indicatori de trafic determinanți pentru zgomotul rutier măsurat, obținuți prin măsurători de trafic efectuate simultan cu măsurătorile de zgomot

Așa cum s-a precizat anterior, pentru a identifica modul în care traficul rutier determină poluarea fonică este necesar ca - în afară de determinarea indicilor psiho-fizici ai zgomotului rutier - să fie identificați acei indicatori ai traficului rutier ce pot fi puși în relație cu indicatorii de zgomot, adică acele mărimi ce pot constitui obiectul unor relații de tip cauză-efect între traficul rutier (factor determinant sau cauză) și zgomotul rutier (efect)

Măsurătorile de trafic realizate în aceste intersecții în aceleași 3 perioade de timp au permis evidențierea indicatorilor de trafic ce se pot constitui în factori determinați pentru indicii (fizici și/sau psiho-fizici) ai zgomotului rutier.

6.9.1. Intersecția semaforizată Maior Șonțu

- *Fluxul braț Est – braț Sud* se caracterizează prin:

1 – șirul de așteptare are valori foarte mari, astfel încât fiecare vehicul așteaptă cel puțin de 2 ori la semnalul Roșu până reușește să traverseze intersecția pe semnalul Verde, deci solicitarea este mult mai mare decât capacitatea oferită de grupul celor 2 benzi, astfel că se circulă pe întreaga durată a fazei de Verde;

2 – autovehiculele execută viraj la stânga, proporția vehiculelor grele este de cca 5%, iar declivitatea căii de rulare este de cca 2%;

3 – se pornește de pe loc și se circulă în treapta I de viteză, la regim ridicat de sarcină a motorului.

- *Fluxul braț Nord – braț Est* se caracterizează prin:

1 – întreg șirul de așteptare traversează intersecția la primul semnal de Verde (există o solicitare pe banda respectivă de numai cca 80%);

2 – autovehiculele execută viraj la stânga, nu există vehiculele grele, iar declivitatea căii de rulare este negativă - de cca 2%;

3 – se pornește de pe loc și se circulă în treapta I de viteză, la regim moderat de sarcină a motorului.

- *Fluxul braț Sud – braț Nord* se caracterizează prin:

1 – întreg șirul de așteptare traversează intersecția la primul semnal de Verde (există o solicitare pe banda respectivă de numai cca 80%);

2 – autovehiculele merg pe direcția înainte, nu există vehiculele grele, iar calea de rulare nu prezintă declivitate.

3 – se pornește de pe loc, se circulă în treapta I de viteză și se trece apoi în treapta a II-a de viteză, la regim moderat de sarcină a motorului.

6.9.2. Intersecția în sens giratoriu Podul Viilor

Caracteristici de interes ale traficului rutier în intersecția Podul Viilor:

- Volumul de viraj dreapta de pe brațul Vest este $V_{dr} = 1100$ veh-et/h, nu există vehicule grele, iar circulația este fluentă, în regim mediu de accelerare;

- Fluxul de conflict corespunzător brațului Vest are valoarea $V_{conflict} = 1100$ veh-et/h, este constituit din vehicule ce se deplasează cu viteză constantă, în treapta I de viteză, iar proporția vehiculelor grele este de cca 5%.

6.9.3. Intersecția în sens giratoriu Rectorat

Caracteristici de interes ale traficului rutier în intersecția Rectorat:

- Volumul fluxului de ieșire pe brațul Vest este $V_{dr} = 1200$ veh-et/h, proporția vehiculelor grele este de cca 5%, se circulă în regim “stop and go” cu accelerații mici;

- Fluxul de conflict corespunzător brațului Vest are valoarea $V_{conflict} = 400$ veh-et/h, este constituit din vehicule ce se deplasează cu viteză constantă, în treapta I de viteză, nu există vehicule grele.

Având în vedere considerațiile cu privire la traficul rutier din cele 3 intersecții în perioadele de măsurare a zgomotului, pe baza rezultatelor cu privire la zgomot din tabelul sinoptic de mai sus (tab. 6.4) se desprind următoarele observații și concluzii:

- *Toți indicii (fizici sau psihofizici) de zgomot au valori mai mari în cazul intersecției semaforizate Maior Șonțu decât în cazul celor două intersecții în sens giratoriu, Podul Viilor și Rectorat.* Această constatare este în conformitate deplină cu literatura de specialitate, explicația fiind că în intersecțiile semaforizate traficul este intermitent, cu accelărări puternice în tr. I de viteză (specific regimului de pornire de pe loc), spre deosebire de intersecțiile în sens giratoriu, unde traficul este fluent (fără oprire, cu accelărări medii în tr. I de viteză) sau este de tipul “stop and go” (cu frânări ușoare și accelărări ușoare în tr. I de viteză).

- *Diferențele (în defavoarea intersecției semaforizate) sunt mai mari în cazul indicilor psihofizici (indicele psihofizic al nivelului de poluare acustică LNP, indicele psihofizic al zgomotului de trafic TNI, indicele psihofizic L_{ech}), ceea ce confirmă faptul că aceștia sunt definiți analitic astfel încât să evidențieze mai puternic diferențele de poluare fonică resimțită de organismul uman în diversele situații.*

- *Zgomotul produs prin claxonare atinge valori foarte mari - valori ce depășesc un nivel de zgomot instantaneu LAF de 90 dB(A), care au fost excluse la prelucrarea datelor, fiind valori aberante – ceea ce justifică interzicerea claxonării pe teritoriul localităților, cu excepția cazurilor de necesitate.*

- *Spre deosebire de cazul intersecțiilor în sens giratoriu, în cazul intersecției semaforizate media nivelului de zgomot este mult mai ridicată și dispersia zgomotului este mult mai extinsă (aceasta determinând un climat de zgomot mai ridicat), ceea ce demonstrează și din acest punct de vedere faptul că intersecțiile în sens giratoriu sunt superioare celor semaforizate în raport cu poluarea fonică produsă de traficul rutier.*

- *Între cele 2 intersecții în sens giratoriu – Podul Viilor, respectiv Rectorat – se constată că valorile indicilor de zgomot sunt foarte apropiate, dar pentru toți indicii s-au obținut valori mai mari în intersecția Podul Viilor, ceea ce se explică prin diferența dintre regimul de mers al autovehiculelor în cele două intersecții: *trafic fluent la viteze reduse (fără oprire, cu accelerări medii în tr. I de viteză)* în intersecția Viilor, respectiv *trafic de tip "stop and go" (cu frânări ușoare și accelerări ușoare în tr. I de viteză)* în intersecția Rectorat.*

Concluzia generală care rezultă în baza cercetărilor prezentate este că intersecțiile în sens giratoriu sunt mai silențioase decât intersecțiile semaforizate, aceasta explicându-se prin faptul că prin funcționarea motorului la turații moderate se asigură un nivel de zgomot rutier mai redus.

6.10. Evaluarea zgomotului rutier prin modele de predicție în funcție de trafic

Pentru a determina prin modelare matematică nivelul de zgomot ce rezultă în baza traficului identificat pe rețeaua rutieră din vecinătatea clădirilor Universității din Pitești, au fost utilizate rezultatele măsurărilor de trafic rutier efectuate în toată această zonă, principalii parametri de trafic rutier obținuți fiind caracterul traficului (fluent sau pulsatoriu), structura traficului (ponderea vehiculelor grele în fluxurile rutiere), volumul orar de trafic și viteza medie de circulație (fig. 6.27).



Fig. 6.27. Culegerea datelor de trafic în zona Târgul din Vale în anul 2016.

Pentru a realiza modelarea zgomotului rutier în proximitatea arterei rutiere din fața corpului T al Facultății de Mecanică și Tehnologie (str. Gh. Șincai) am realizat o cercetare bibliografică minuțioasă pe numeroase site-uri de pe Internet, reușind în final să am acces la două calculatoare de zgomot rutier – un program de calcul al Agenției de Transport din Noua Zeelandă [<https://www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/highways-information-portal/tools/road-traffic-noise-calculator>], ce utilizează modelul britanic CoRTN, prezentat pe larg în capitolul anterior, și un program de calcul ce utilizează modelul olandez pentru evaluarea zgomotului rutier [<https://rigolett.home.xs4all.nl/ENGELS/vlgcalc>], conform cu ultimul standard olandez în domeniu, elaborat în anul 2002.

6.10.1. Evaluarea nivelului de zgomot cu softul New Zealand Transport Agency

Acest program de calcul se bazează pe modelul britanic CoRTN (1988), prezentat în cap. 2, și poate fi utilizat în situații când nu există o topografie complexă a terenului, adică atunci când nu este nevoie să se discretizeze artera rutieră în mai multe segmente ca linii-sursă de zgomot, pentru care să se calculeze separat nivelul de zgomot emis apoi să se cumuleze separat.

Sunt prevăzute, în schimb, mai mult categorii pentru suprafețele rutiere și mai actuale (inclusiv cele silențioase, promovate tot mai mult în ultimii ani). De asemenea, viteza medie minimă admisă ca dată de intrare este de 50 km/h, ca urmare a faptului că este conceput pentru tronosoane rutiere în proximitatea cărora nu se află intersecții rutiere.

Acest tip de scenariu este foarte potrivit în diversele situații când terenul nu are o configurație complexă, astfel că drumul este în aliniament (în plan orizontal) și în palier (în plan vertical), și nici clădirile din proximitatea tronsonului rutier nu au o arhitectură specială.

Softul conține 5 pagini, fiecare pagină având mai multe câmpuri pentru introducerea datelor inițiale, prezentate în continuare. Rezultatul final poate fi stocat în format PDF, cu posibilitatea revenirii asupra datelor prelucrate

Astfel, s-a realizat o aplicație pentru corpul T al Universității din Pitești, unde se află sălile de curs și de laborator ale Facultății de Mecanică și Tehnologie, pentru fațada dinspre strada Gh. Șincai (fig. 6.28).

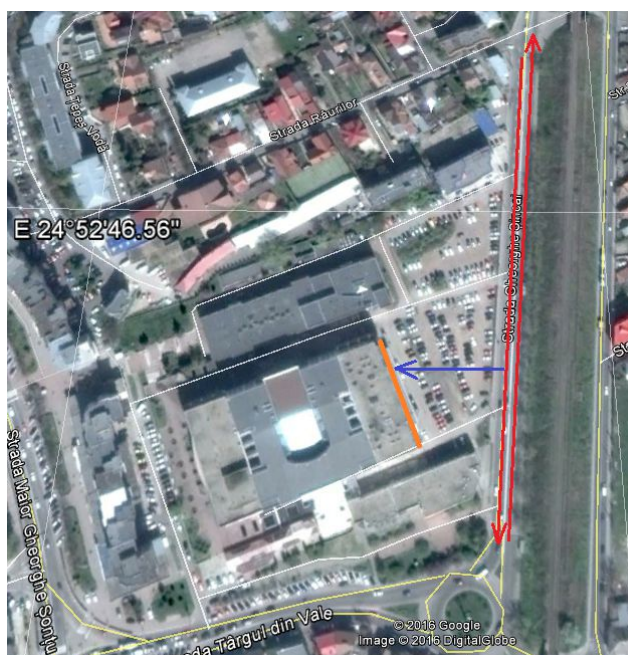


Fig. 6.28. Condițiile urbanistice la modelarea zgomotului rutier în zona corpului T.

Datele introduse definesc caracteristicile tehnice ale drumului și traficul rutier:

- **AADT** [veh/zi] – volumul zilnic de trafic mediu la nivelul unui an (Annual Average Daily Traffic), până la maxim 150.000 veh/zi;
- **Heavy Vehicles** – procentul vehiculelor grele (cu masa maxim autorizată mai mare de 3,5 tone) în fluxul de trafic, de la 0 la 100%;
- **Vehicle Speed** - viteza medie a vehiculelor (sau viteza fluxului de trafic), de la 50 km/h în sus;
- **Gradient** – înclinarea longitudinală a drumului, în procente, de la 0 în sus; pentru drum în coborâre se introduce valoarea 0.

În pagina 2 a programului este definită geometria terenului.

- **Distance to receiver** : distanța de la partea cea mai apropiată a drumului până la receptor [m].

- **Barrier (Yes/No)**: existența sau inexistența unei bariere (naturale sau antropice) între drum și receptor.

- **Height above road**: înălțimea receptorului față de planul drumului [m].

Pentru fațada corpului T, elementele precizate sunt: distanța = 20 m; fără bariere; înălțimea receptorului 5 m (la nivelul etajelor 1 și 2).

În pagina 3 se precizează unghiul sub care este receptat zgomotul de la sursa-linie (valoarea este cea maximă, de 180°, zona de propagare a sunetului de la tronsonul rutier către receptor fiind complet liberă) și unghiul total sub care este receptat zgomotul reflectat (nu există construcții vis-a-vis de corpul T, iar terasamentul căii ferate nu reflectă zgomotul, astfel că se precizează valoarea 0).

În pagina 4 sunt definite condițiile de propagare a sunetului: înălțimea medie a traseului de propagare (average propagation height) și procentul de absorbție a sunetului de către teren (percentage absorption ground), pentru care s-a considerat o valoare minimă, <10%, deoarece terenul este dur.

În final se generează documentul PDF ce conține datele de intrare și rezultatul final, sub forma unui raport final (road-traffic noise calculator).

Summary	
AADT	20000vpd
Heavy vehicles	10%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Stone mastic asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	No
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Propagation height	1.5m
Ground absorption	<10%

Noise level LAeq(24h)	
	65dB

6.10.2. Evaluarea nivelului de zgomot cu softul Dutch 2002

Acest program de calcul este realizat în baza standardului olandez bazat pe metoda conformă cu modelul britanic CoRTN (1988), dar actualizată în anul 2002, ce utilizează datele cu privire la trafic pentru perioada de zi (7.00 – 22.00) și perioada de noapte (22.00 – 7.00) în relațiile prezentate în capitolul precedent.

Pentru a studia variația nivelului de zgomot în funcție de proporția vehiculelor grele, %HV, s-au utilizat proporții pentru %HV de la 0% la 100% (de la 0 la 1500 HV), în condițiile situației actuale, cu volum orar în perioadele de vârf de trafic de 1500 veh/h (coeficientul de echivalare a vehiculelor grele în vehicule etalon este utilizat automat de soft, și corespunde celui din standardul SR 7348/2001: *Echivalarea vehiculelor pentru determinarea capacității de circulație* și din normativul AND 584-2002: C = 2,5) și cu volum orar pe timpul nopții de 200 veh/h (v. figura următoare).

Data on road			
Road traffic input data help	Day: 7.00-22.00	Night: 22.00-7.00	
Motorcycles per hour	0	0	
Cars per hour	900	200	
Speed cars	50	60	☒ kilometers per hour ☐ miles per hour
Number of vans/hr	0	0	
Number of heavy trucks/hr	600	0	
Speed trucks	50	60	
Road surface help	Smooth asphalt		

data on geometry help	
Height of road	0
Horizontal distance in meters from center of road <i>Fill in 0 (zero, not blank!) when you want to calculate the distance for a given noise level</i>	25
Height of house or observer	5
View angle (127 grad= full view)	127
Fraction sound absorbing soil (0=all hard, non absorbing; 1= all absorbing)	0
Percentage reflection from opposite side (0=no surface; 1= all reflective).	0
Distance to reflective surface on opposite side	0
Height of reflecting object (must be at least 5 m)	0
Distance to intersection	0
Calculated Noise Level (L_{dn}) <i>(Or fill in (>40) if you want to calculate distance; distance must be set to zero)</i>	69
Night LAeq is	56



Tabelul următor conține rezultatele obținute prin simularea cu %HV de la 0 la 100%, pentru un volum orar de trafic de 1500 veh/h. Se observă efectul pe care îl are %HV asupra zgomotului rutier: creșterea nivelului de zgomot în raport cu %HV este cvasiliniară, dar substanțială: de la 65 la 72 dBA.

Q = 1500 veh-et/h; d = 25 m											
%HV	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
L _{dn}	65	66	67	68	69	69	70	70	71	71	72

6.10.3. Concluzii

Se observă că pentru scenariul ce corepsunde situației actuale a traficului în zona analizată, cu %HV = 10%, s-au obținut valori practic egale cu cele două softuri: L_{dn} = 66 dBA cu softul New Zealand Transport Agency, respectiv L_{dn} = 65 dBA cu softul Dutch 2002 (diferența este de numai 1 dBA), astfel că se poate afirma că aceste modele conduc la rezultate similare pentru cazul arterei rutiere din fața corpului T.

Dar adecvanța (verosimilitatea) acestor modele de predicție a zgomotului rutier pentru cazul corpului T necesită măsurarea nivelului de zgomot la nivelul fațadei, la înălțimea de 5 m (acestea fiind condițiile scenariului pentru care s-a realizat modelarea zgomotului rutier).

Acest lucru s-a realizat cu aparatura din laboratorul Zgomote și Vibrații, care este situat chiar la etajul I pe fațada ce constituie obiectul analizelor prezentate (fig. 6.29), obținându-se valori foarte apropiate, diferențele fiind rezonabile, de sub 5%, ceea ce permite să se afirme că cele două modele matematice (ambele bazate pe modelul britanic CoRTN) sunt verosimile pentru cazul municipiului Pitești.

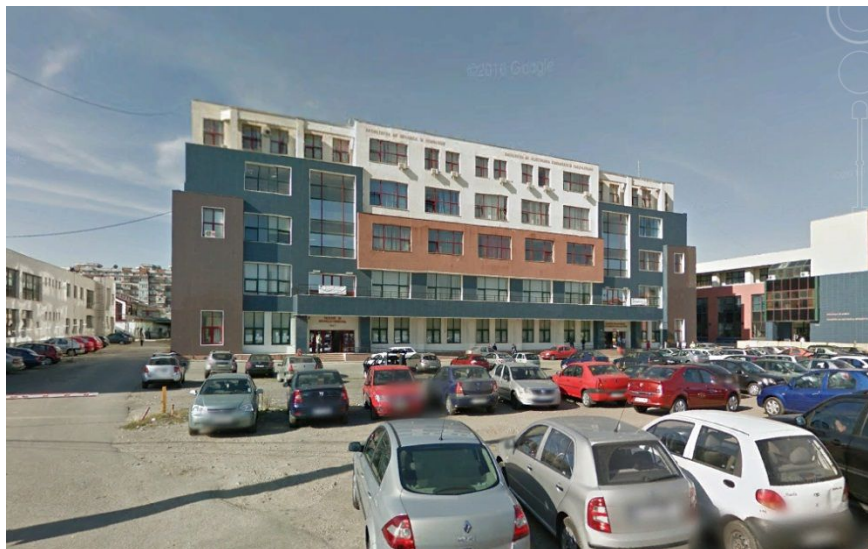


Fig. 6.29. Corpul T - Facultatea de Mecanică și Tehnologie [<http://www.GoogleEarth>].

În concluzie: pentru arterele rutiere unde nu există obstacole în calea propagării zgomotului rutier spre clădiri poate fi utilizat softul olandez Dutch 2002 [<https://rigolett.home.xs4all.nl/ENGELS/vlgcalc>], iar pentru cazul mai complex, când există obstacole în calea zgomotului, poate fi utilizat softul neozeelandez New Zealand Transport Agency [<https://www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/highways-information-portal/tools/road-traffic-noise-calculator>], cu rezultate verosimile.

6.11. Predicția zgomotului rutier în cazul reorganizării circulației în zona centrală a municipiului Pitești

Având în vedere propunerile deja existente pentru reorganizarea circulației rutiere în municipiul Pitești (ce se constituie și în măsuri active de reducere a poluării fonice) - ce vor avea efecte și asupra traficului rutier din zona central studiată, ca și posibilitatea de a realiza amenajări urbanistice pentru atenuarea propagării zgomotului rutier (măsuri pasive de reducere a poluării fonice), se prevăd pentru viitorul apropiat următoarele scenarii pentru care se realizează predicția nivelului de zgomot la fațada corpului T al Facultății de Mecanică și Tehnologie.

6.11.1. Scenariul 1 (interzicerea accesului pentru traficul greu)

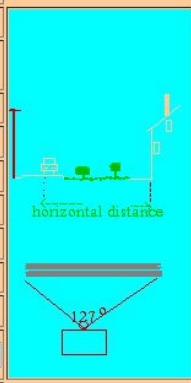
Într-o primă etapă, având în vedere faptul că s-a demonstrat că în perioadele de vârf de trafic capacitatea intersecției semaforizate Maior Șonțu este depășită de cererea de trafic (nivelul de serviciu al intersecției scade la nivelul F, ceea ce corespunde fenomenului de congestie rutieră, congestie ce se propagă în amonte în intersecția în sens giratoriu Târgul din Vale și pe strada Gh. Șincai, din fața Facultății de Mecanică și Tehnologie), o măsură de reorganizare a circulației rutiere este devierea traficului greu de pe traseul descris de intersecțiile Podul Viilor – Târgul din Vale - Maior Șonțu pe supraversarea rutieră Podul Viilor, str. Costache Negri - str. Lânăriei – str. Basarabiei).

În acest scenariu, vor dispărea din trafic vehiculele grele, astfel că se poate estima nivelul de zgomot cu ajutorul celor două softuri prezentate anterior.

Astfel, utilizând softul Dutch 2002 [<https://rigolett.home.xs4all.nl/ENGELS/vlgcalc.htm>], față de situația actuală, când nivelul de zgomot estimat este de 66 dBA, se obține valoarea de 64 dB (mai mică cu 2 dBA).

Data on road			
Road traffic input data help	Day: 7.00-22.00	Night: 22.00-7.00	
Motorcycles per hour	0	0	
Cars per hour	1350	200	
Speed cars	50	60	☒ kilometers per hour ☐ miles per hour
Number of vans/hr	0	0	
Number of heavy trucks/hr	0	0	
Speed trucks	50	80	
Road surface help	Smooth asphalt		

data on geometry help	
Height of road	0
Horizontal distance in meters from center of road <i>Fill in 0 (zero, not blank!) when you want to calculate the distance for a given noise level</i>	25
Height of house or observer	5
View angle (127 grad= full view)	127
Fraction sound absorbing soil (0=all hard, non absorbing; 1= all absorbing)	0
Percentage reflection from opposite side (0=no surface; 1= all reflective).	0
Distance to reflective surface on opposite side	0
Height of reflecting object (must be at least 5 m)	0
Distance to intersection	0
Calculated Noise Level (Ldn) <i>(Or fill in (>40) if you want to calculate distance; distance must be set to zero)</i>	64
Night LAeq is	56



[Click Here to Reset](#) [Compute](#)

A fost analizat scenariul cu eliminarea traficului greu și cu modelul neozeelandez [<https://www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/highways-information-portal/tools/road-traffic-noise-calculator/>] și nivelul de zgomot previzionat a scăzut tot cu 2 dB, de la 65 la 63 dB, așa cum se observă în fig. următoare, ca și în raportul PDF prezentat în Anexa 3.1.a.

Export

Project name:

Scenariul 1

Project notes:

Interzicerea accesului pentru traficul greu

[Generate PDF](#)

Summary

AADT	18000vpd
Heavy vehicles	0%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Stone mastic asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	No
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Propagation height	1.5m
Ground absorption	<10%

Noise level L_{Aeq}(24h) 63dB

Road
Geometry
Angle of view
Propagation
Export

6.11.2. Scenariul 2 (darea în funcțiune a pasajului Prundu)

În cadrul microsimulării traficului realizată cu softul Vissim, prin introducerea viitorului pasaj rutier de la Prundu (arteră rutieră de supratraversare), s-a constatat că se va reduce și fluxul de vehicule ușoare cu cca 20%, astfel că se obțin următoarele simulări:

Cu softul olandez Dutch 2002 se previzionează că va scădea cu încă 1 dB (deci, de la 66 dBA în situația actuală, la 64 dBA după eliminarea traficului greu și, acum, după reducerea traficului ușor cu 20%, la 63 dBA) – fig. următoare.

Data on road			
Road traffic input data help	Day: 7.00-22.00	Night: 22.00-7.00	
Motorcycles per hour	0	0	
Cars per hour	1150	150	
Speed cars	50	50	☒ kilometers per hour ☐ miles per hour
Number of vans/hr	0	0	
Number of heavy trucks/hr	0	0	
Speed trucks	50	80	
Road surface help	Smooth asphalt		

data on geometry help	
Height of road	0
Horizontal distance in meters from center of road <i>Fill in 0 (zero, not blank!) when you want to calculate the distance for a given noise level</i>	25
Height of house or observer	5
View angle (127 grad= full view)	127
Fraction sound absorbing soil (0=all hard, non absorbing; 1= all absorbing)	0
Percentage reflection from opposite side (0=no surface; 1= all reflective).	0
Distance to reflective surface on opposite side	0
Height of reflecting object (must be at least 5 m)	0
Distance to intersection	0
Calculated Noise Level (Ldn) <i>(Or fill in (>40) if you want to calculate distance; distance must be set to zero)</i>	63
Night LAeq is	54

[Click Here to Reset](#)
[Compute](#)



Cu softul neozelandez scade tot cu încă 1 dB (de la 65 dBA în situația actuală, la 63 dBA după eliminarea traficului greu și, acum, la 62 dBA) – fig. următoare și Anexa 3.2.a.

Export

Project name:

Scenariul 2

Project notes:

Darea în funcțiune a pasajului rutier Prundu (eliminarea traficului greu și reducerea traficului ușor cu 20%)

[Generate PDF](#)

Summary

AADT	15000vpd
Heavy vehicles	0%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Stone mastic asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	No
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Propagation height	1.5m
Ground absorption	<10%

Noise level L_{Aeq}(24h) 62dB

Road
Geometry
Angle of view
Propagation
Export

Deci față de situația actuală, în scenariul cel mai radical nivelul de zgomot ar scădea cu 3 dB (la un nivel echivalent zi-noapte de 63 sau de 62 dB), dar departe de limita de 50 dB. Este evident că, în afara de reorganizarea circulației sunt necesare și alte măsuri, inclusiv măsuri de protecție pasivă.

6.11.3. Scenariul 3 (îmbrăcămintă rutieră silențioasă)

O primă cale ar fi aplicarea unei îmbrăcăminți rutiere mai silențioase. Astfel, aplicând softul New Zealand și softul Dutch 2002, se constată că se poate obține și pe această cale o reducere a poluării fonice rutiere.

Astfel, utilizând nu cel mai scump material (cu inserții de cereale sau de piele), ci doar asfalt poros, se obține o reducere cu încă 1 dBA, ajungându-se la un nivel de zgomot de 61 dBA cu softul New Zealand sau de 62 dBA cu softul Dutch 2002 – așa cum se prezintă în figurile următoare și în Anexa 3.3.a.

Summary	
AADT	15000vpd
Heavy vehicles	0%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Porous asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	No
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Propagation height	1.5m
Ground absorption	<10%

Noise level $L_{Aeq}(24h)$ 61dB

Data on road		
Road traffic input data help	Day: 7.00-22.00	Night: 22.00-7.00
Motorcycles per hour	0	0
Cars per hour	1150	150
Speed cars	50	50
Number of vans/hr	0	0
Number of heavy trucks/hr	0	0
Speed trucks	50	80
Road surface help	Porous asphalt	

data on geometry help	
Height of road	0
Horizontal distance in meters from center of road <i>Fill in 0 (=zero, not blank!) when you want to calculate the distance for a given noise level</i>	25
Height of house or observer	5
View angle (127 grad= full view)	127
Fraction sound absorbing soil (0=all hard, non absorbing; 1= all absorbing)	0
Percentage reflection from opposite side (0=no surface; 1= all reflective).	0
Distance to reflective surface on opposite side	0
Height of reflecting object (must be at least 5 m)	0
Distance to intersection	0
Calculated Noise Level (Ldn) <i>(Or fill in (>40) if you want to calculate distance; distance must be set to zero)</i>	62
Night L_{Aeq} is	51

Click Here to Reset Compute

O altă cale ce poate fi aplicată simultan este de natură administrativă: stimularea producătorilor pentru a dota autoturismele cu pneuri silențioase, care, așa cum s-a aratat în capitolul 3, pot conduce la o reducere a zgomotului de rulare chiar cu 3 dBA.

6.12. Predicția zgomotului rutier imis în cazul aplicării măsurilor de protecție fonică

Având în vedere că pot fi utilizate bariere de protecție fonică, iar softul New Zealand Transport Agency permite luarea în considerare a scenariilor cu bariere fonice, prezintă interes efectul pe care l-ar avea utilizarea acestor bariere, deoarece această cale de protecție fonică este relativ facil de aplicat în cazul analizat.

Astfel, reluând toate cele 3 scenarii anterioare, dar adăugând condiția amplasării unei bariere fonice (ce poate fi chiar o barieră vegetală), rezultă situațiile prezentate în continuare.

S-a aplicat condiția suplimentară cu barieră, amplasată la 5 m distanță și având 1,5 m înălțime, în situația actuală și cele 3 scenarii deja studiate:

- cazul actual: AADT = 20.000 veh/zi, din care 10% veh grele (Anexa 3.0.b);
- scenariul 1: trafic fără HV (Anexa 3.1.b);
- scenariul 2: trafic fără HV și cu 20% mai puține vehicule ușoare (Anexa 3.2.b);
- scenariul 3: trafic fără HV și cu 20% mai puține vehicule ușoare și cu îmbrăcăminte rutieră silențioasă) - Anexa 3.3.b.

S-au obținut rezultatele din tabelul de mai jos (pentru scenariile cu barieră fonică, rezultatele obținute cu softul New Zealand sunt prezentate și în figurile următoare).

Scenariul	L _{Aeq(24h)} [dBA]		
	Softul New Zealand L _{z-n}		Softul Dutch (numai fără barieră, dar poate avea ca dată de intrare tipul suprafeței: reflectantă sau absorbantă) L _{z-n} / L _n
	Fără barieră	Cu barieră, d = 5m, h = 1,5m	
Situația actuală (AADT = 20.000 veh; 10%HV)	65	63	66 / 56
Scenariul 1: fără HV	63	61	64 / 56
Scenariul 2: fără HV și cu 20% mai puține vehicule ușoare	62	60	63 / 54
Scenariul 3: fără HV și cu 20% mai puține vehicule ușoare și cu îmbrăcăminte rutieră silențioasă	61	58	62 / 51

Export

Project name:

Project notes:

Bariera de 1,5 m, la 5 m distanță.

Generate PDF

Summary

AADT	20000vpd
Heavy vehicles	10%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Stone mastic asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	Yes
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Barrier height	1.5m
Barrier distance from road	5m

Noise level L_{Aeq(24h)} 63dB

Road

Geometry

Angle of view

Propagation

Export

Export

Project name:

Project notes:

Interzicerea accesului pentru traficul greu.
Bariera de 1,5 m, la 5 m distanta.

Generate PDF

Summary

AADT	18000vpd
Heavy vehicles	0%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Stone mastic asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	Yes
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Barrier height	1.5m
Barrier distance from road	5m

Noise level $L_{Aeq}(24h)$ 61dB

RoadGeometryAngle of viewPropagationExport

Export

Project name:

Project notes:

Darea in functiune a pasajului Prundu
(eliminarea traficului greu si reducerea traficului
usor cu 20%).
Bariera de 1,5 m, la 5 m distanta.

Generate PDF

Summary

AADT	15000vpd
Heavy vehicles	0%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Stone mastic asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	Yes
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Barrier height	1.5m
Barrier distance from road	5m

Noise level $L_{Aeq}(24h)$ 60dB

RoadGeometryAngle of viewPropagationExport

Export

Project name:

Project notes:

Darea in functiune a pasajului Prundu
(eliminarea traficului greu si reducerea traficului
usor cu 20%)
Bariera de 1,5m, la 5 m distanta
Imbracaminte rutiera silentioasa

Generate PDF

Summary

AADT	15000vpd
Heavy vehicles	0%
Speed	50km/h
Gradient	0%
Surface	Porous asphalt
Height above road	5m
Distance to receiver	20m
Barrier	Yes
Reflective surfaces opposite	0°
View of road segment	180°
Barrier height	1.5m
Barrier distance from road	5m

Noise level $L_{Aeq}(24h)$ 58dB

RoadGeometryAngle of viewPropagationExport

Trebuie observat însă că aceste măsuri de protecție pasivă sunt valabile pentru suprafața clădirilor, dar pentru pietonii aflați pe trotuarul din proximitatea arterei rutiere măsurile de protecție pasivă nu se pot aplica, astfel că pentru pietoni rămân de interes doar măsurile active, de modificare a traficului rutier.

6.13. Concluzii

Măsurătorile de zgomot realizate în intersecția semaforizată Maior Șonțu, în perioade de timp când intensitatea traficului este maximă, au evidențiat faptul că zgomotul rutier în intersecția semaforizată are un caracter pulsatoriu, ca și fluxurile de vehicule care se formează - cu decelerări și accelerări ce contribuie la o creștere substanțială a nivelului de zgomot.

Nivelul de zgomot atinge valori ridicate, de 73,5 dB, ceea ce se explică prin procesele de frânare și accelerare și mai puțin prin prezența în trafic a vehiculelor grele

Cercetările, teoretice și experimentale, relevă faptul că există posibilități de a evalua destul de fidel zgomotul rutier, de a-l modela cu cele mai potrivite modele matematice – atât din punct de vedere al complexității cât și al reprezentativității pentru specificul fiecărei situații întâlnite - astfel încât să se poată realiza o îmbunătățire a nivelului de zgomot prin organizarea cât mai bună a circulației rutiere.

În cazul intersecției Maior Șonțu se observă o anumită ciclicitate, care corespunde cu circulația intermitentă ce se produce pe fiecare grup de benzi, aceasta fiind o intersecție semaforizată.

Vârfurile de zgomot se explică prin prezența autovehiculelor mari (autogunoiere, autobetoniere, autobuze), care au o contribuție majoră la zgomotul rutier, foarte mult la pornirea de pe loc, dar chiar și în timp ce așteaptă semnalul Verde al semaforului.

În cazul intersecției în sens giratoriu Podul Viilor, unde zgomotul măsurat este produs de fluxul de intrare (vehicule care circulă fluent, în regim mediu de accelerare) și de fluxul de conflict (vehicule ce se deplasează cu viteză constantă) se observă suprapunerea a două distribuții de valori ale zgomotului: o distribuție cu valori medii de 70-75 dB(A) și cu vârfuri de zgomot în jur de 80 dB (A), respectiv o distribuție mai puțin extinsă, cu valori medii de 65-70 dB(A).

În cazul intersecției în sens giratoriu Târgul din Vale, unde s-a circulat în regim “stop and go” cu accelerații mici și unde compoziția traficului a inclus într-o proporție mică și autovehicule grele, zgomotul măsurat prezintă valori medii în intervalul 65-70 dB(A), dar spre finalul intervalului de măsurare aceste valori au coborât chiar, în intervalul 60-65 dB(A), când congestia rutieră a început să dispară.

Analiză comparativă a rezultatelor obținute prin măsurătorile de zgomot realizate în cele 3 intersecții rutiere a fost realizată cu ajutorul unei prezentări tabelare sinoptice.

Pentru a identifica modul în care traficul rutier determină poluarea fonică a fost necesar ca - în afară de determinarea indicilor psiho-fizici ai zgomotului rutier – să fie identificați acei indicatori ai traficului rutier ce pot fi considerați factori determinanți sau cauze pentru zgomotul rutier.

Având în vedere valorile nivelului de zgomot măsurate și considerațiile cu privire la traficul rutier din cele 3 intersecții în perioadele de măsurare a zgomotului, pe baza rezultatelor din tabelul sinoptic s-au desprins observații și concluzii interesante:

- *Toți indicii (fizici sau psihofizici) de zgomot au valori mai mari în cazul intersecției semaforizate Maior Șonțu decât în cazul celor două intersecții în sens giratoriu, Podul Viilor și Rectorat. Această constatare este în conformitate deplină cu ceea ce afirmă, de fapt, literatura de specialitate, explicația fiind dată de faptul că în intersecțiile semaforizate traficul este intermitent, cu accelărări puternice în tr. I de viteză (specific regimului de pornire de pe loc), spre deosebire de intersecțiile în sens giratoriu, unde traficul este fluent (fără oprire, cu*

accelerări medii în tr. I de viteză) sau este de tipul “stop and go” (cu frânări ușoare și accelerări ușoare în tr. I de viteză).

- *Diferențele (în defavoarea intersecției semaforizate) sunt mai mari în cazul indicilor psihofizici* (indicele psihofizic al nivelului de poluare acustică LNP, indicele psihofizic al zgomotului de trafic TNI, indicele psihofizic L_{ech}), ceea ce confirmă faptul că aceștia sunt definiți analitic astfel încât să evidențieze mai puternic diferențele de poluare fonică resimțită de organismul uman în diversele situații.

- Spre deosebire de cazul intersecțiilor în sens giratoriu, *în cazul intersecției semaforizate media nivelului de zgomot este mult mai ridicată și dispersia zgomotului este mult mai extinsă* (aceasta determinând un climat de zgomot mai ridicat), ceea ce demonstrează și din acest punct de vedere faptul că intersecțiile în sens giratoriu sunt preferabile celor semaforizate din punct de vedere al poluării fonice.

- Între cele 2 intersecții în sens giratoriu – Podul Viilor, respectiv Rectorat – se constată că valorile indicilor de zgomot sunt foarte apropiate, dar pentru toți indicii s-au obținut valori mai mari în intersecția Podul Viilor, ceea ce se explică prin diferența dintre regimul de mers al autovehiculelor în cele două intersecții: *trafic fluent la viteze reduse (fără oprire, cu accelerări medii în tr. I de viteză)* în intersecția Viilor, respectiv *trafic de tip “stop and go” (cu frânări ușoare și accelerări ușoare în tr. I de viteză)* în intersecția Rectorat.

Concluzia generală care rezultă în baza cercetărilor prezentate este că intersecțiile în sens giratoriu sunt mai silențioase decât intersecțiile semaforizate, aceasta explicându-se prin faptul că prin funcționarea motorului la turații moderate se asigură un nivel de zgomot rutier mai redus.

Pentru a determina prin modelare matematică nivelul de zgomot pe baza traficului identificat pe rețeaua rutieră din vecinătatea clădirilor Universității din Pitești, au fost utilizate rezultatelor măsurărilor de trafic rutier efectuate în toată această zonă, principalii parametri de trafic rutier utilizați ca date de intrare fiind structura traficului (ponderea vehiculelor grele în fluxurile rutiere), volumul orar de trafic și viteza medie de circulație.

Pentru modelarea zgomotului rutier în proximitatea arterei rutiere din fața corpului T al Facultății de Mecanică și Tehnologie s-au utilizat două programe de calcul: un program de calcul al Agenției de Transport din Noua Zeelandă, ce utilizează modelul britanic CoRTN, și un program de calcul ce utilizează modelul olandez pentru evaluarea zgomotului rutier, conform cu ultimul standard olandez în domeniu, elaborat în anul 2002.

Primul program de calcul se bazează pe modelul britanic CoRTN (1988), și poate fi utilizat în situații când nu există o topografie complexă a terenului, deci atunci când nu este nevoie să se discretizeze artera rutieră în mai multe segmente ca linii-sursă de zgomot.

Al doilea program de calcul este realizat în baza standardului olandez bazat pe metoda conformă cu modelul britanic CoRTN (1988), dar actualizată în anul 2002.

S-a realizat o aplicație pentru corpul T al Universității din Pitești, unde se află sălile de curs și de laborator ale Facultății de Mecanică și Tehnologie, pentru fațada dinspre strada Gh. Șincai, utilizând datele măsurate sau observate prin măsurătorile de trafic pe strada Gh. Șincai în ambele sensuri de mers.

Pentru cazul ce corespunde situației actuale a traficului în zona analizată s-au obținut valori practic egale cu cele două softuri - New Zealand Transport Agency, respectiv softul Dutch 2002, astfel că aceste modele conduc la rezultate similare pentru cazul arterei rutiere din fața corpului T.

Dar adecvanța (verosimilitatea) acestor modele de predicție a zgomotului rutier a fost confirmată și în urma măsurării zgomotului la nivelul fațadei, cu aparatura din laboratorul Zgomote și Vibrații, în condițiile pentru care s-a realizat modelarea zgomotului rutier.

În concluzie: pentru arterele rutiere unde nu există obstacole în calea propagării zgomotului rutier spre clădiri poate fi utilizat softul olandez Dutch 2002, iar pentru cazul mai

complex, când există obstacole în calea zgomotului, poate fi utilizat softul neozeelandez New Zealand Transport Agency, cu rezultate verosimile.

Având în vedere propunerile deja existente pentru reorganizarea circulației rutiere în municipiul Pitești (ce se constituie și în măsuri active de reducere a poluării fonice) - ce vor avea efecte și asupra traficului rutier din zona centrală studiată, ca și posibilitatea de a realiza amenajări urbanistice pentru atenuarea propagării zgomotului rutier (măsuri pasive de reducere a poluării fonice), sunt prevăzute pentru viitorul apropiat o serie de scenarii succesive, care au condus la anumite valori ale traficului rutier obținute prin microsimularea Vissim, pentru care s-a realizat predicția nivelului de zgomot la fațada corpului T al Facultății de Mecanică și Tehnologie.

Astfel, într-o primă etapă, având în vedere faptul că s-a demonstrat că în perioadele de vârf de trafic capacitatea intersecției semaforizate Maior Șonțu este depășită de cererea de trafic (nivelul de serviciu al intersecției scade la nivelul F, ceea ce corespunde fenomenului de congestie rutieră, congestie ce se propagă în amonte în intersecția în sens giratoriu Târgul din Vale și pe strada Gh. Șincai, din fața Facultății de Mecanică și Tehnologie), o măsură de reorganizare a circulației rutiere este devierea traficului greu de pe traseul descris de intersecțiile Podul Viilor – Târgul din Vale - Maior Șonțu pe supraversarea rutieră Podul Viilor, str. Costache Negri - str. Lânăriei – str. Basarabiei).

În acest prim scenariu, vor dispărea din trafic vehiculele grele, astfel că pe baza noilor date obținute pentru traficul rutier, a fost estimat nivelul de zgomot cu ajutorul celor două softuri dedicate.

La fel s-a procedat și pentru următoarele două scenarii:

- scenariul 2 (darea în funcțiune a pasajului Prundu - investiție pentru care s-a realizat deja studiul de fezabilitate), când, în cadrul microsimulării traficului realizate cu softul Vissim, prin introducerea acestui pasaj rutier (arteră rutieră de supratraversare), s-a constatat că se va reduce fluxul de vehicule ușoare pe strada Gheorghe Șincai cu cca 20%;
- scenariul 3 (utilizarea unei îmbrăcăminti rutiere silențioase), luând în calcul asfaltul poros ca îmbrăcăminte rutieră.

Se relevă și faptul că încă o cale ce poate fi aplicată este de natură administrativă: stimularea producătorilor pentru a dota autoturismele cu pneuri silențioase.

Se constată că, parcurgând succesiv cele 3 scenarii, reducerea nivelului de zgomot va fi de numai 4 dB, ajungându-se doar în ultimul scenariu la valori sub limita de 60 dB.

Se concluzionează că, alături de reorganizarea circulației rutiere, sunt necesare și alte măsuri, inclusiv măsuri de protecție pasivă.

Astfel, reluând toate cele 3 scenarii anterioare, dar adăugând condiția amplasării unei bariere fonice (ce poate fi o barieră vegetală), rezultă situațiile prezentate în continuare.

S-a aplicat condiția suplimentară cu barieră fonică, amplasată la 5 m distanță și având 1,5 m înălțime, în situația actuală și cele 3 scenarii deja studiate și s-au obținut pentru fiecare scenariu reduceri cu încă 2-3 dBA, valorile nivelului de zgomot ajungând chiar sub 60 dBA, în zona limitelor legale.

Se remarcă însă că aceste măsuri de protecție pasivă sunt valabile pentru suprafața clădirilor, dar pentru pietonii aflați pe trotuarul din proximitatea arterei rutiere măsurile de protecție pasivă nu se pot aplica, așa că pentru pietoni rămân de interes doar măsurile active, referitoare la traficul rutier ce poate fi determinat prin organizarea circulației rutiere (și, eventual, dotarea autovehiculelor cu pneuri silențioase).

Concluzia finală este că nivelul de zgomot ajunge sub nivelul limită atunci când se iau măsuri cu privire la circulația rutieră astfel încât toți factorii determinanți să fie favorabili (deviere trafic greu, circulație fluentă, regimuri stabile și moderate ale motoarelor, viteze mici de deplasare, valori reduse ale densității de trafic, asfalt silențios, pneuri silențioase).

7. CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. PERSPECTIVE DE CERCETARE

Studiile și cercetările ce au fost realizate pentru îndeplinirea obiectivelor tezei de doctorat au oferit oportunități de a aduce contribuții la teoria traficului rutier și la modelarea zgomotului ambiental în funcție de caracteristicile traficului rutier.

7.1. Concluzii

Pentru scenariul cel mai complex al manevree de depășire, constituit din 3 etape - accelerare până la o viteză limită (legală), deplasare cu această *viteză constantă*, decelerare până la valoarea vitezei inițiale, pentru a se integra în spațiul existent dintre vehiculul urmărit și un alt vehicul plasat în fața acestuia - s-a semnalat faptul că în acest caz apare o ultimă fază, care nu se regăsește în modelele manevrei de depășire din literatura de specialitate, dar nu este de neglijat, deoarece spațiul și timpul necesare pentru reintegrare în fluxul de trafic, au valori destul de importante.

În plus, s-a relevat un aspect care nu este surprins în literatura de specialitate: cunoscuta relație în care viteza din ecuația fundamentală a traficului este o viteză medie armonică (viteză medie spațială) este valabilă doar în cazul fluxurilor de trafic (și nu în cazul vehiculului singular) sau, mai explicit, *numai atunci când se prelucrează date cu privire la debitele și vitezele fluxurilor de trafic*.

De asemenea, s-a realizat o analiză riguroasă pentru cazul când se dispune de măsurători ale vitezelor curenților de trafic și ale densităților de trafic, demonstrându-se că viteza fluxului total se obține agregând vitezele curenților de trafic ca medie aritmetică a vitezelor, ponderată în raport cu densitățile de trafic, depășind astfel ambiguitățile existente în legătură cu acest caz.

A fost realizată o analiză comparativă a diverselor modele utilizate în literatura de specialitate pentru diagrama fundamentală a traficului (modele uni-regim: Greenshields, Greenberg, Underwood, Northwestern; modele multi-regim: Edie, liniar-două regimuri, Greenberg modificat, liniar-trei regimuri ...), concluzionându-se că îmbunătățirea acestor modele se poate realiza numai prin luarea în considerație a modelelor de urmărire ale vehiculelor, ceea ce presupune modelarea la nivel microscopic a fluxurilor rutiere.

S-a demonstrat că pentru obținerea unui volum maxim de trafic, este necesar să se asigure condiții pentru menținerea unei distanțe minime între vehicule, iar acest lucru se obține doar în cazul unui *trafic omogen* (când vehiculele sunt de aceeași categorie, deci au performanțe dinamice și de frânare similare).

Pentru acest caz, se concluzionează că singurul factor care face diferența în ceea ce privește distanța necesară între vehicule este comportamentul conducătorilor auto, prin timpul de reacție.

Explorarea acestor modele a condus la concluzii interesante:

- Pentru fluxurile continue pe o singură bandă de circulație există o similitudine cu comportarea gazelor (care umplu întreg spațiul pus la dispoziție), astfel că în acest caz se pot utiliza nu numai elemente de teorie hidrodinamică (ce modelează curgerea lichidelor), ci chiar ale teoriei gazodinamice (ce modelează comportarea gazelor în spații variabile).

- În condițiile unui trafic omogen, debitul poate atinge valori mult mai mari decât cele indicate în literatura de specialitate (la viteze de peste 100 km/h se poate ajunge la cca 3000 veh/h). Chiar se constată că o a treia bandă a autostrăzii asigură un debit egal cu suma debitelor de pe prima și a doua bandă de circulație, ceea ce înseamnă că aceasta ar fi soluția ideală pentru autostrăzi, în ciuda costurilor foarte mari pe care le implică investiția.

După realizarea programului de calcul cu relațiile de calcul pentru cazul intersecției cu 3 brațe și cu fluxuri de întoarcere, prin utilizarea acestuia pentru intersecția în sens giratoriu Podul

Viilor din Pitești a putut fi determinată mărimea fluxului de întoarcere de pe brațul Est, ceea ce a permis formularea de previziuni cu privire la modul în care se va desfășura circulația rutieră în intersecție după ce se va da în funcțiune artera rutieră ce supratraversează Calea București din municipiul Pitești – previziuni ce au fost confirmate de noile măsurători realizate.

Acest rezultat, ce a putut fi obținut pe cale analitică cu ajutorul formulelor originale descoperite, a relevat necesitatea continuării analizei în scopul organizării circulației în zona intersecției în sens giratoriu astfel încât să dispară fenomenul de congestie rutieră pe brațul Nord.

Observațiile realizate în intersecția în sens giratoriu au condus la concluzia că există resurse mari pentru creșterea capacității intersecției (și pentru dispariția fenomenului de congestie rutieră în orele de vârf) prin organizarea corectă a circulației în intersecție.

A fost realizat un studiu de trafic ce a avut drept scop evaluarea oportunității transformării intersecției E 574 - DN 73D, având circulația reglementată prin semne de cedare a priorității, într-o intersecție în sens giratoriu, rezultând o concluzie interesantă: *intersecțiile în sens giratoriu permit o mai bună preluare a vârfurilor de trafic ce apar pe unul din brațele intersecției (creșterile foarte mari ale volumului de trafic pe un braț al intersecției nu determină creșteri la fel de mari ale întârzierilor de control pe brațul respective).*

S-a evidențiat faptul că zgomotul poate fi evaluat fie considerând sursele individuale drept surse punctiforme (cazul autovehiculului singular – când densitatea traficului rutier este foarte mică) fie considerând fluxurile rutiere drept surse-linie (când densitatea traficului este mare și distanța până la receptor este mare).

Această a doua abordare poate fi aplicată cu o precizie mai mare dacă se procedează la discretizarea sursei lineice în tronsoane rutiere cu niveluri de zgomot diferite. Pentru aceasta se utilizează o mărime echivalentă cu nivelul de putere acustică pe metru – *densitatea lineică a nivelului de putere acustică*.

Concluzia care rezultă este că pentru pietoni (situați pe trotuar, în imediata apropiere a fluxului rutier), este recomandabil ca zgomotul să fie modelat în raport cu puterea de emisie fonică a vehiculelor individuale, iar pentru locatari (situația de la fațada clădirii, deci la distanță destul de mare de sursa de zgomot), zgomotul să fie modelat în raport cu *densitatea lineică a nivelului de putere acustică, eventual discretizată pentru câteva tronsoane rutiere*.

Poluarea fonică rutieră constă, de fapt, în zgomotul rutier receptat (zgomotul imis), dar este produsă de traficul rutier (zgomot emis), astfel că de mare importanță este predicția imisiei de zgomot prin modelarea matematică a zgomotului în funcție de caracteristicile traficului rutier și ale mediului în care se propagă.

Pentru reducerea zgomotului rutier se acționează simultan pe două căi: prin măsuri active, la sursă, astfel încât zgomotul emis să se reducă (aici se regăsește și organizarea circulației rutiere), respectiv prin măsuri pasive, ce urmăresc reducerea zgomotului imis, cel care ajunge la receptor, iar acest lucru se realizează prin amenajări urbanistice ce se constituie în bariere fonice și constituie încă o resursă de explorat pentru reducerea poluării fonice.

A fost realizată o analiză comparativă între diferitele modele de predicție a zgomotului rutier prezentate, remarcându-se că modelele dezvoltate sau adoptate în cele mai mari țări din Europa conduc la valori foarte apropiate pe aproape întreg domeniul de valori al fluxului de trafic.

S-a semnalat faptul că principala limită a acestor modele o reprezintă abordarea pe baze statistice pentru evaluarea parametrilor din ecuația modelului, fără a surprinde variabilitatea inerentă a fluxurilor rutiere - dată de variabilitatea vehiculelor chiar în cadrul aceleiași categorii și de comportamentul diferit al conducătorilor auto în aceleași condiții de trafic.

O direcție prolifică pentru îmbunătățirea modelelor de prognoză a poluării fonice produse de traficul rutier se constată a fi modelarea zgomotului rutier în relație cu dinamica vehiculelor individuale (în care se regăsește variabilitatea performanțelor dinamice ale vehiculelor și a caracteristicilor decizionale și de acțiune ale conducătorilor auto), deci dezvoltarea unor modele dinamice, ceea ce presupune ca acestea să se bazeze pe microsimularea traficului rutier.

În urma celor prezentate, s-a constatat că există o diversitate de modele de predicție a zgomotului rutier, dar au rezultat câteva concluzii de interes, pe care s-a fundamentat propunerea

unui model integrator pentru predicția zgomotului rutier – pentru diverse zone ale rețelei rutiere (definită prin intersecții rutiere și artere rutiere), pentru diverse caracteristici ale traficului rutier și pentru diverse caracteristici ale circulației rutiere.

Astfel, s-a constatat că principala diferențiere a surselor de zgomot rutier se poate face în funcție de caracteristicile traficului rutier:

- atunci când receptorul se află la o distanță mică de fluxurile de trafic, în raport cu distanța dintre vehicule (aflată în relație cu densitatea traficului), cea mai potrivită abordare este cea în care se iau în calcul, drept surse de zgomot, vehiculele individuale – surse punctiforme;
- în caz contrar, este indicat să se considere ca sursă de zgomot întreg fluxul rutier (definit prin caracteristicile sale – debit, viteză, densitate), deci ca sursă-linie.

Ca urmare, având în vedere considerațiile cu privire la modelarea traficului rutier conjugate cu cele referitoare la modelarea zgomotului rutier, s-a ajuns la propunerea pentru următorul model de predicție a zgomotului rutier imis (zgomot perceput de receptor), dezvoltat astfel încât sunt avute în vedere caracteristicile întregului sistem „conducător auto – drum – vehicul”, cât și ale mediului de propagare a zgomotului.

Modelul este operabil, pe baza modelelor deja existente, pentru cazul când se ia în calcul fluxul rutier (specific arterelor rutiere lungi și înguste), dar pentru cazul surselor punctiforme (specific intersecțiilor sau unui trafic foarte redus), metodele existente sunt încă imprecise, motiv pentru care cea mai bună abordare în acest caz este cea bazată pe metode statistice de prelucrare a rezultatelor obținute prin măsurători.

S-a relevat faptul că o rezolvare a problemelor de trafic din cele două intersecții semaforizate din zona centrală se poate obține, doar parțial, prin adaptarea ciclurilor de semaforizare la structura fluxurilor de trafic din perioadele de vârf: creșterea duratei de verde pentru mișcarea de trafic unde capacitatea s-a dovedit insuficientă și reducerea celorlalte faze de verde de la mișcările de trafic unde există un exces de capacitate.

În ceea ce privește *intersecțiile în sens giratoriu* din zona centrală a municipiului Pitești, s-au obținut următoarele concluzii:

- pentru cele două intersecții de la Centrul de Diagnostic și de la Rectorat s-a demonstrat că dacă vor fi rezolvate complet problemele de trafic în intersecțiile semaforizate din proximitate se va obține îmbunătățirea nivelului de serviciu al acestor intersecții și, deci, problemele de trafic din aceste intersecții vor dispărea;
- singura intersecție în sens giratoriu care din cauze ce țin de ea însăși nu are un nivel de serviciu suficient de mare este intersecția de la Podul Viilor, care a apărut de curând, ca o componentă a complexei amenajări rutiere ce include calea rutieră supraterană de lângă podul de cale ferată.

Pentru intersecția de la Podul Viilor, în urma studiilor de trafic efectuate a rezultat că pentru rezolvarea problemei relevate (imposibilitatea vehiculelor de pe brațul Nord de a accede pe calea inelară în condiții de siguranță,) se impune ca o primă soluție preselectarea circulației pe fiecare braț în funcție de direcția de urmat în intersecție.

La momentul actual, această propunere (realizarea marcajelor longitudinale) a fost deja pusă în practică de administrația locală a municipiului Pitești și se constată ordonarea circulației în intersecție, astfel încât problema accesului dificil de pe brațul Nord a dispărut.

Însă o problemă care rămâne de rezolvat la nivelul zonei centrale a municipiului Pitești o constituie faptul că în unele perioade ale zilelor lucrătoare cererea de trafic depășește capacitatea rețelei rutiere.

Studiile realizate au demonstrat că nu mai există resurse pentru a mări capacitatea de circulație a rețelei rutiere centrale, așa că singura posibilitate de rezolvare a acestei probleme de trafic rămâne redirectionarea unei părți din traficul rutier astfel încât să ocolească zona centrală.

În scopul identificării posibilităților de rezolvare a problemelor de trafic din zona centrală a municipiului Pitești – de la îmbunătățirea ciclurilor de semaforizare a intersecțiilor la propunerea de redirectionare a unor fluxuri de trafic în afara zonei analizate – a fost realizată cu programul Vissim o aplicație ce constă într-o microsimulare a circulației rutiere în zona centrală

Utilizarea aplicației create necesită măsurarea fluxurilor orare de intrare în intersecții și identificarea proporției fluxurilor pe diversele direcții. *Pentru intersecțiile în sens giratoriu, aceste date de intrare (proporțiile în care fluxurile de intrare de pe fiecare braț se distribuie pe diversele direcții de mers) pot fi obținute cu exactitate numai prin metoda analitică proiectată, utilizând programul de calcul realizat special în limbajul Java.*

Cu aplicația realizată s-a rulat programul de microsimulare Vissim pentru zona centrală a municipiului Pitești, iar rezultatele obținute pe această cale virtuală au demonstrat că o perspectivă de mare interes se dovedește a fi identificarea posibilităților prin care într-o proporție cât mai ridicată traficul rutier având ca origine Calea Depozitelor sau podul de peste Argeș și ca destinație intersecția semaforizată Maior Șonțu să urmeze traseul dintre calea ferată și râul Argeș, astfel încât să se reducă solicitarea intersecției în sens giratoriu Podul Viilor și să fie ocolită zona rezidențială constituită din cartierul Popa Șapcă, în scopul reducerii poluării fonice.

În acest sens, prima propunere care a rezultat a fost direcționarea traficului greu prin indicatoare rutiere de obligare la dreapta: înainte de intersecția Podul Viilor, pentru vehiculele ce pătrund în oraș peste Podul Argeș; înainte de intrarea în intersecția Rectorat, pentru vehiculele ce acced dinspre Calea Craiovei prin intersecția maior Șonțu.

O a doua etapă este identificarea, pe baza modelelor de trafic și a formulelor propuse pentru determinarea pe cale analitică a curenților de trafic din intersecțiile în sens giratoriu, a posibilităților de a organiza circulația rutieră în zona centrală a municipiului Pitești astfel încât să se reducă solicitarea intersecției Maior Șonțu, unde încă nu este eliminat fenomenul de congestie rutieră.

Dacă în ceea ce privește intersecția în sens giratoriu Podul Viilor, așteptările ca aplicarea propunerilor deja formulate să conducă la eliminarea fenomenului de congestie rutieră s-au îndeplinit (ca urmare a semnalizării adecvate pe orizontală a întregii intersecții – realizată recent de Primăria Pitești în urma propunerilor formulate), problema congestiei rutiere la orele de vârf pe brațul Est al intersecției semaforizate Maior Șonțu va necesita o rezolvare mult mai complexă, pentru a se alege cea mai bună și cea mai durabilă soluție.

Măsurătorile realizate în cadrul cercetărilor prezentate - având în vedere capacitatea limitată a acestei intersecții semaforizate, chiar în condițiile în care s-ar încerca adaptarea planului de semaforizare la vârful de trafic de pe brațul Est sau chiar o altă amenajare a acestei intersecții, eventual cu circulația reglementată în sens giratoriu – au relevat faptul că intersecția semaforizată Maior Șonțu nu va putea oferi capacitatea necesară în perioadele de vârf de trafic.

Ca urmare, singura soluție viabilă, prin care se va elimina complet fenomenul de congestie rutieră în intersecția rutieră Maior Șonțu este crearea condițiilor pentru redirectionarea unora dintre fluxurile de trafic, iar acest lucru se poate realiza prin amenajarea unui pasaj rutier peste calea ferată din cartierul Prundu, astfel încât să fie eliminate inconvenientele actuale (bariera este pusă de 19 ori pe zi, cel mai lung interval de timp având chiar 17 minute).

O parte importantă din traficul rutier – cel având ca destinație cartierul Prundu, cartierul Craiovei, cartierul Războieni, precum și zona periurbană din estul și sudul orașului va urma acest traseu, desconggestionându-se astfel zona centrală a municipiului Pitești

Soluțiile prezentate mai sus cu privire la reorganizarea circulației rutiere au fost luate în calcul la estimarea poluării fonice în zona centrală a municipiului Pitești, pentru evaluarea gradului în care se reduce poluarea produsă de traficul rutier în noile condiții.

Cercetările recente, teoretice și experimentale, relevă faptul că există posibilități de a evalua destul de fidel zgomotul rutier, de a-l modela cu cele mai potrivite modele matematice – atât din punct de vedere al complexității cât și al reprezentativității pentru specificul fiecărei situații întâlnite - astfel încât să se poată realiza o îmbunătățire a nivelului de zgomot prin organizarea cât mai bună a circulației rutiere.

Pentru a identifica modul în care traficul rutier determină poluarea fonică este necesar ca măsurătorile de zgomot să pună în evidență, în afară de indici fizici ai zgomotului rutier (care sunt determinați numai de caracteristicile fizice ale zgomotului rutier), și o serie de indici psiho-fizici (care caracterizează gradul în care omul este afectat de zgomot).

Măsurătorile traficului rutier și ale zgomotului rutier au fost realizate în 3 din cele mai importante intersecții din zona centrală a municipiului Pitești: intersecția semaforizată Maior Șonțu; intersecțiile în sens giratoriu Podul Viilor și Rectorat.

În cazul intersecției Maior Șonțu se observă o anumită ciclicitate, care corespunde cu circulația intermitentă ce se produce pe fiecare grup de benzi, aceasta fiind o intersecție semaforizată.

Vârfurile de zgomot se explică prin prezența autovehiculelor mari (autogunoiere, autobetoniere, autobuze), care au o contribuție majoră la zgomotul rutier, foarte mult la pornirea de pe loc, dar chiar și în timp ce așteaptă semnalul Verde al semaforului.

În cazul intersecției în sens giratoriu Podul Viilor, unde zgomotul măsurat este produs de fluxul de intrare (vehicule care circulă fluent, în regim mediu de accelerare) și de fluxul de conflict (vehicule ce se deplasează cu viteză constantă) se observă, în mod corespunzător, suprapunerea a două distribuții de valori ale zgomotului.

În cazul intersecției în sens giratoriu Târgul din Vale, unde s-a circulat în regim "stop and go" cu accelerații mici și unde compoziția traficului a inclus într-o proporție mică și autovehicule grele, zgomotul măsurat prezintă valori medii în perioada de congestie rutieră, dar aceste valori au coborât sensibil, când congestia rutieră a dispărut.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute prin măsurătorile de zgomot realizate în cele 3 intersecții rutiere a fost realizată cu ajutorul unei prezentări tabelare sinoptice.

Pentru a identifica modul în care traficul rutier determină poluarea fonică a fost necesar ca - în afară de determinarea indicilor psiho-fizici ai zgomotului rutier - să fie identificați acei indicatori ai traficului rutier ce pot fi considerați factori determinanți sau cauze pentru zgomotul rutier.

Astfel, au fost efectuate măsurători de zgomot în 3 intersecții rutiere, simultan cu măsurătorile de zgomot, pentru evidențierea indicatorilor de trafic ce se pot constitui în factori determinați pentru indicii (fizici și/sau psiho-fizici) ai zgomotului rutier.

Având în vedere valorile nivelului de zgomot măsurate și considerațiile cu privire la traficul rutier din cele 3 intersecții în perioadele de măsurare a zgomotului, pe baza rezultatelor din tabelul sinoptic s-au desprins observații și concluzii interesante:

- *Toți indicii (fizici sau psihofizici) de zgomot au valori mai mari în cazul intersecției semaforizate Maior Șonțu decât în cazul celor două intersecții în sens giratoriu, Podul Viilor și Rectorat.* Această constatare este în conformitate deplină cu ceea ce afirmă, de fapt, literatura de specialitate, explicația fiind dată de faptul că în intersecțiile semaforizate traficul este intermitent, spre deosebire de intersecțiile în sens giratoriu, unde traficul este fluent.

- *Diferențele (în defavoarea intersecției semaforizate) sunt mai mari în cazul indicilor psihofizici* (indicele psihofizic al nivelului de poluare acustică LNP, indicele psihofizic al zgomotului de trafic TNI, indicele psihofizic L_{ech}), ceea ce confirmă faptul că aceștia sunt definiți analitic astfel încât să evidențieze mai puternic diferențele de poluare fonică resimțită de organismul uman în diversele situații.

- *Spre deosebire de cazul intersecțiilor în sens giratoriu, în cazul intersecției semaforizate media nivelului de zgomot este mult mai ridicată și dispersia zgomotului este mult mai extinsă* (aceasta determinând un climat de zgomot mai ridicat), ceea ce demonstrează și din acest punct de vedere faptul că intersecțiile în sens giratoriu sunt superioare celor semaforizate din punct de vedere al poluării fonice produse de traficul rutier.

- *Între cele 2 intersecții în sens giratoriu – Podul Viilor, respectiv Rectorat – se constată că valorile indicilor de zgomot sunt foarte apropiate, dar pentru toți indicii s-au obținut valori mai mari în intersecția Podul Viilor, ceea ce se explică prin diferența dintre regimul de mers al autovehiculelor în cele două intersecții: *trafic fluent la viteze reduse (fără oprire, cu accelerații medii în tr. I de viteză)* în intersecția Viilor, respectiv *trafic de tip "stop and go" (cu frânări ușoare și accelerații ușoare în treapta I de viteză)* în intersecția Rectorat.*

Concluzia generală care rezultă în baza cercetărilor prezentate este că intersecțiile în sens giratoriu sunt mai silențioase decât intersecțiile semaforizate, aceasta explicându-se prin faptul că prin funcționarea motorului la turații moderate se asigură un nivel de zgomot rutier mai redus.

Pentru a determina prin modelare matematică nivelul de zgomot pe baza traficului identificat pe rețeaua rutieră din vecinătatea clădirilor Universității din Pitești, au fost utilizate rezultatele măsurătorilor de trafic rutier efectuate în toată această zonă, principalii parametri de trafic rutier utilizați ca date de intrare fiind structura traficului (ponderea vehiculelor grele în fluxurile rutiere), volumul orar de trafic și viteza medie de circulație.

Pentru modelarea zgomotului rutier în proximitatea arterei rutiere din fața corpului T al Facultății de Mecanică și Tehnologie s-au utilizat două programe de calcul: un program de calcul al Agenției de Transport din Noua Zeelandă, ce utilizează modelul britanic CoRTN, și un program de calcul ce utilizează modelul olandez pentru evaluarea zgomotului rutier, conform cu ultimul standard olandez în domeniu, elaborat în anul 2002.

Primul program de calcul se bazează pe modelul britanic CoRTN (1988), și poate fi utilizat în situații când nu există o topografie complexă a terenului, deci atunci când nu este nevoie să se discretizeze artera rutieră în mai multe segmente ca linii-sursă de zgomot.

Al doilea program de calcul este realizat în baza standardului olandez bazat pe metoda conformă cu modelul britanic CoRTN (1988), dar actualizată în anul 2002.

Deoarece acest model de calcul permite calcularea nivelului de zgomot pentru zi și noapte L_{dn} în cazul simplificat al tronsoanelor rutiere unde propagarea zgomotului către clădirile din apropiere nu este ecranată de obstacole, este liberă, pentru a evidenția cât mai bine specificul acestui model au fost analizate și prezentate grafic relațiile dintre nivelul de zgomot și diverse mărimi de trafic, păstrând aceleași condiții geometrice (ale corpului T): volumul de trafic, înălțimea fațadei la care este receptat zgomotul rutier; proporția vehiculelor grele. Astfel, pentru arterele rutiere unde nu există obstacole în calea propagării zgomotului rutier spre clădiri poate fi utilizat softul olandez Dutch 2002, iar pentru cazul mai complex, când există obstacole în calea zgomotului, poate fi utilizat softul neozeelandez New Zealand Transport Agency, cu rezultate verosimile.

S-a realizat o aplicație pentru corpul T al Universității din Pitești, unde se află sălile de curs și de laborator ale Facultății de Mecanică și Tehnologie, pentru fațada dinspre strada Gh. Șincai, utilizând datele măsurate sau observate prin măsurătorile de trafic pe strada Gh. Șincai în ambele sensuri de mers.

Pentru cazul ce corespunde situației actuale a traficului în zona analizată s-au obținut valori practic egale cu cele două softuri - New Zealand Transport Agency, respectiv softul Dutch 2002, astfel că aceste modele conduc la rezultate similare pentru cazul rețelei rutiere din centrul municipiului Pitești.

Verosimilitatea acestor modele de predicție a zgomotului rutier a fost confirmată și în urma măsurării zgomotului la nivelul fațadei, cu aparatura din laboratorul Zgomote și Vibrații, în condițiile pentru care s-a realizat modelarea zgomotului rutier.

Având în vedere propunerile deja existente pentru reorganizarea circulației rutiere în municipiul Pitești (ce se constituie și în măsuri active de reducere a poluării fonice) - ce vor avea efecte și asupra traficului rutier din zona centrală studiată, ca și posibilitatea de a realiza amenajări urbanistice pentru atenuarea propagării zgomotului rutier (măsuri pasive de reducere a poluării fonice), sunt prevăzute pentru viitorul apropiat o serie de scenarii succesive, care au condus la anumite valori ale parametrilor traficului rutier, obținute prin microsimularea Vissim, pentru care s-a realizat predicția nivelului de zgomot la fațada corpului T al Facultății de Mecanică și Tehnologie.

Astfel, într-o primă etapă, având în vedere faptul că s-a demonstrat că în perioadele de vârf de trafic capacitatea intersecției semaforizate Maior Șonțu este depășită de cererea de trafic (nivelul de serviciu al intersecției scade la nivelul F, ceea ce corespunde fenomenului de congestie rutieră, care se propagă în amonte în intersecția în sens giratoriu Târgul din Vale și pe strada Gh. Șincai, din fața Facultății de Mecanică și Tehnologie), o măsură de reorganizare a circulației rutiere este devierea traficului greu de pe traseul Podul Viilor – Târgul din Vale - Maior Șonțu pe supraversarea rutieră Podul Viilor, str. Costache Negri - str. Lânăriei – str. Basarabiei).

În acest prim scenariu, va dispărea traficul greu, astfel că pe baza noilor date obținute pentru traficul rutier, a fost estimat nivelul de zgomot cu ajutorul celor două softuri dedicate.

La fel s-a procedat și pentru următoarele două scenarii:

- scenariul 2 (darea în funcțiune a pasajului Prundu - investiție pentru care s-a realizat deja studiul de fezabilitate), când, în cadrul microsimulării traficului realizate cu softul Vissim, prin introducerea acestui pasaj rutier (arteră rutieră de supratraversare), s-a constatat că se va reduce fluxul de vehicule ușoare pe strada Gheorghe Șincai cu cca 20%;

- scenariul 3 (utilizarea unei îmbrăcămînți rutiere silențioase), luând în calcul asfaltul poros ca îmbrăcăminte rutieră.

Se relevă și faptul că încă o cale ce poate fi aplicată este de natură administrativă: stimularea producătorilor pentru a dota autoturismele cu pneuri silențioase.

Se constată că, parcurgând succesiv cele 3 scenarii, reducerea nivelului de zgomot va fi de numai 4 dB, ajungându-se la valori încă mult mai mari decât limita de 50 dB.

Se concluzionează că, alături de reorganizarea circulației rutiere, sunt necesare și măsuri de protecție pasivă.

Astfel, reluând toate cele 3 scenarii anterioare, dar adăugând condiția amplasării unei bariere fonice (ce poate fi o barieră vegetală), rezultă situațiile prezentate în continuare.

S-a aplicat condiția suplimentară cu barieră, amplasată la 5 m distanță și având 1,5 m înălțime, în situația actuală și cele 3 scenarii deja studiate și s-au obținut pentru fiecare scenariu reduceri cu încă 2-3 dBA, valorile nivelului de zgomot ajungând chiar sub 60 dBA, în zona limitelor legale.

Se remarcă însă că aceste măsuri de protecție pasivă sunt valabile pentru suprafața clădirilor, dar pentru pietonii aflați pe trotuarul din proximitatea arterei rutiere măsurile de protecție pasivă nu se pot aplica, așa că pentru pietoni rămân de interes doar măsurile active, referitoare la traficul rutier ce poate fi determinat prin organizarea circulației rutiere (și, eventual, dotarea autovehiculelor cu pneuri silențioase).

Concluzia finală este că nivelul de zgomot se poate încadra în limitele legislative atunci când se iau măsuri cu privire la circulația rutieră astfel încât toți factorii determinanți să fie favorabili (deviere trafic greu, circulație fluentă, regimuri stabile și moderate ale motoarelor, viteze mici de deplasare, valori reduse ale densității de trafic, asfalt silențios, pneuri silențioase).

7.2. Contribuții personale

1. Pentru a elucida ambiguitățile cu privire la relația de ordine dintre viteza medie temporală și viteza medie spațială, au fost dezvoltate cercetări teoretice detaliate pentru cele două cazuri posibile: deplasarea cu viteză variabilă a unui vehicul singular, respectiv deplasarea

- în cazul unui vehicul singular, *întotdeauna viteza medie temporală este mai mică decât viteza medie spațială*;

- din contră, în cazul unui flux de vehicule, *întotdeauna viteza medie temporală este mai mare decât viteza medie spațială*.

2. Pentru cazul *traficului neomogen* (cu structură compozită de vehicule, ce au posibilități de accelerare și decelerare sensibil diferite), frecvent întâlnit în țara noastră datorită deficitului de autostrăzi, modelul matematic prin care s-a descris intervalul minim dintre vehicule a fost dezvoltat pe baza relației ce descrie intervalul minim dintre vehicule având în vedere și diferența dintre modurile de frânare ale vehiculelor din fluxul rutier (decelerații diferite).

Astfel, valoarea pentru distanța minimă dintre două vehicule succesive a fost definită în funcție de parametrii ce definesc mișcările celor două vehicule (viteza, timpul de reacție al conducătorului auto, decelerațiile celor două vehicule și spațiul de siguranță) și s-a ajuns, în final, să se explicitizeze volumul maxim de trafic în funcție de o mărime ce conține decelerațiile celor două vehicule, ceea ce a determinat propunerea de utilizare a acestei mărimi ca *un nou parametru în teoria traficului rutier*: C = parametru ce exprimă variabilitatea decelerațiilor la frânare pentru vehiculele din fluxul compozit continuu, acest parametru având ca echivalent inversul decelerației: $C [1/(m/s^2)]$.

Aceasta a permis să se constate că în condițiile unui trafic neomogen volumul traficului crește numai până la o anumită valoare a vitezei (cu atât mai mică cu cât mai neomogen este

traficul), după care scade, în timp ce pentru cazul traficului omogen, volumul de trafic continuă să crească permanent cu viteza, creșterea estompându-se la valorile mari, când graficul traficului în funcție de viteză tinde asimptotic la o valoare limită ce depinde de valoarea timpului de reacție al conducătorului auto.

3. Metodologiile de calcul a capacității intersecțiilor în sens giratoriu, ce se regăsesc în numeroasele softuri dezvoltate de firme specializate, se bazează pe modele analitice în care primul pas îl constituie introducerea, ca date de intrare, a fluxurilor pentru fiecare curent de trafic din intersecție sau introducerea volumelor de intrare pe fiecare braț și a procentelor în care aceste volume se împart în curenți de trafic, rezultând prin calcul analitic mărimile fluxurilor de conflict pentru fiecare braț – necesare pentru evaluarea capacității brațelor și, apoi, a capacității intersecției.

Dar măsurarea acestor curenți de trafic este practic imposibil de realizat de către observatori de trafic, fezabilă este doar filmarea întregii intersecții și apoi identificarea traseului parcurs de fiecare vehicul în parte - procedeu ce este foarte laborios.

Ca urmare a acestor analize, a apărut următoarea întrebare: *este posibil ca pentru o intersecție în sens giratoriu, pe baza valorilor măsurate cu observatori ficși pentru fluxurile de intrare, fluxurile de ieșire și fluxurile de conflict, să se determine volumul curenților de trafic?*

S-a analizat această problemă, pentru a descoperi dacă este rezolvabilă, începând cu cea mai simplă intersecție în sens giratoriu - cea cu 3 brațe. Analiza sistemelor de ecuații prin calcule matriciale efectuate cu programul Matlab și cu programul Microsoft Excel au condus la concluziile:

- în cazul *intersecțiilor cu 3 brațe și cu fluxuri de întoarcere*, pot fi determinați cei 6 curenți de trafic pentru vehiculele ce virează la stânga și care întorc în intersecție doar dacă, alături de fluxurile de intrare și fluxurile de conflict se măsoară și fluxurile de vehicule ce virează la dreapta.

- în cazul *intersecției cu 4 brațe*, este posibil să se determine curenții de trafic numai pentru scenariul “fără fluxuri de întoarcere” (doar *fluxurile spre înainte și fluxurile la stânga*), dar numai dacă se măsoară și fluxurile de vehicule ce virează la dreapta.

4. Pentru fiecare din cele două cazuri ce s-au dovedit rezolvabile pe baza datelor măsurate cu observatori ficși, pe baza fiecărui set de relații analitice obținut a fost realizat câte un program de calcul în Microsoft Excel ce permite, după introducerea datelor măsurate (volumele de intrare, volumele de conflict și volumele de viraj dreapta), obținerea valorilor pentru fluxurile necunoscute de pe calea circulară.

Dar cum o adevărată valorificare a metodei analitice descoperite presupune conceperea unor programe de calcul într-unul din limbajele de programare dedicate, *s-au realizat două programe de calcul în limbajul de programare Java (Anexa 1 și Anexa 2)*, cu interfețe foarte accesibile.

5. Continuând explorarea teoretică a problemei, s-a constatat că este posibilă realizarea unui program de calcul și pentru situația mai complexă în care se ia în calcul factorul orar de vârf PHF (Peak Hour Factor).

Ca urmare, luând în calcul și valorile factorului orar de vârf PHF, pentru fiecare curent de trafic de pe calea circulară a intersecției în sens giratoriu, au fost realizate pentru cele două scenarii programe de calcul în Microsoft Excel, mărimile de ieșire fiind volumele curenților de trafic corectate în funcție de valorile factorului orar de vârf PHF.

6. A fost realizat un studiu de trafic pentru intersecțiile în sens giratoriu, ce a condus la concluzia că *intersecțiile în sens giratoriu permit o mai bună preluare a vârfurilor de trafic ce apar pe unul din brațele intersecției*, constatare ce susține *soluția de organizare a circulației în sens giratoriu pentru intersecțiile cu variații mari ale traficului pe unul din brațe*.

7. A fost realizată o prezentare detaliată a conceptelor de sunet pur, sunet complex și zgomot, evidențiindu-se într-un mod inedit condiția care face ca un sunet complex să fie perceput de un ascultător ca zgomot: cum domeniul de audibilitate al sunetelor pentru om este 16 – 16.000 Hz, condiția ca prin compunerea mai multor sunete pure să se obțină un sunet complex este ca cel mai mare divizor comun al frecvențelor acestora (pentru care toate frecvențele sunt multipli, deci) să fie în *domeniul de audibilitate* al omului, adică semnalul sonor rezultat să fie perceput de

acesta ca sunet, în caz contrar fiind perceput ca zgomot, deoarece nu este sesizată nicio periodicitate pentru acest cumul de semnale sonore.

8. Pe baza considerațiilor prezentate în capitolul ce tratează modelarea traficului rutier, conjugate cu cele referitoare la modelarea zgomotului rutier, s-a propus un model de predicție a zgomotului rutier imis pe baza caracteristicilor traficului rutier și ale mediului de propagare a zgomotului, model în care sunt integrate, pentru calculul volumelor curenților de trafic din intersecțiile în sens giratoriu, programele de calcul Java pentru fluxurile rutiere din intersecțiile în sens giratoriu, ce operează cu algoritmi matematici special realizați.

Acest model complex are un caracter integrator – este dezvoltat astfel încât sunt avute în vedere caracteristicile întregului sistem „conducător auto – drum – vehicul”, cât și ale mediului de propagare a zgomotului și este operabil, pe baza modelelor deja existente, pentru cazul când se iau în calcul caracteristicile fluxului rutier, dar pentru cazul surselor punctiforme (specific intersecțiilor sau unui trafic foarte redus), metodele existente sunt încă imprecise, motiv pentru care cea mai bună abordare în acest caz este cea bazată pe metode statistice.

7.3. Perspective de cercetare

Cercetările teoretice și experimentale desfășurate au permis obținerea unor concluzii și rezultate proprii de interes, dar au deschis și calea extinderii acestor cercetări în scopul îmbunătățirii performanțelor circulației rutiere și a diminuării poluării fonice produse de traficul rutier, prezentate în continuare.

1. O direcție viitoare de cercetare, teoretică și experimentală, inspirată atât de precizările din literatura de specialitate cât și de considerațiile prezentate anterior cu privire la posibilitățile de creștere a nivelului de serviciu al intersecțiilor rutiere în sens giratoriu foarte mari, o reprezintă studiul posibilităților de a cumula avantajele intersecțiilor semaforizate și ale intersecțiilor în sens giratoriu, prin dezvoltarea conceptului de “intersecție în sens giratoriu semaforizată”.

Această soluție presupune semaforizarea intersecției în sens giratoriu, iar calculele teoretice preliminare cu privire la capacitatea acestei intersecții combinate indică faptul că pentru intersecții mari (având mai multe benzi circulare, astfel încât se poate realiza preselecția circulației pentru a separa curenții de trafic pe calea circulară a intersecției) se obțin bune rezultate, ca urmare a reducerii timpilor de acces în intersecție.

2. Valorificarea celor două programe de calcul a fluxurilor rutiere din intersecțiile în sens giratoriu necesită realizarea lor ca pagini web, în format HTML, astfel încât să poată fi accesate și utilizate liber pe Internet.

În plus, deși aceste relații inedite pentru fluxurile rutiere din intersecțiile în sens giratoriu au fost publicate în reviste foarte vizibile, inclusiv la nivel internațional, o direcție viitoare de acțiune va fi prezentarea acestora producătorilor de softuri dedicate simulării traficului rutier, în scopul adoptării programelor aferente, deja realizate, ca module în cadrul metodologiei de simulare (la nivel macro, mezo sau micro) a traficului rutier, pentru a rezolva, astfel, problema precizării acestor fluxuri în prima etapă a simulării.

3. Extinderea cercetărilor pentru a se ajunge la o metodologie complexă de simulare a zgomotului rutier, valorificând existentele modele de predicție a zgomotului, dar completându-le cu algoritmi decizionali de alegere a mărimilor ce caracterizează traficul rutier, ce vor fi utilizate ca date primare.

Având în vedere că modelul complex propus, cu caracter integrator, care a fost utilizat și în cercetările realizate, prezintă o bună aplicabilitate doar pentru cazul când se ia în calcul fluxul rutier (specific arterelor rutiere lungi și înguste), în timp ce pentru cazul surselor punctiforme (specific intersecțiilor sau unui trafic foarte redus), metodele existente sunt încă puțin elaborate și, ca urmare, puțin aplicabile, o direcție viitoare de cercetare o constituie completarea modelului matematic cu metode prin care să fie valorificate datele rezultate prin microsimularea traficului rutier, date ce caracterizează mult mai fidel dinamica vehiculelor în regimuri variabile de deplasare.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Akcelik, R. (2015) – *Speed-flow Models for Uninterrupted Traffic Facilities*, Greythorn Victoria, Australia, 2002
3. Ammoser, H. (2014) – *Fundamental diagram of traffic flow*, Dresden Germany, Fakultät Verkehrswissenschaften, www.google.com, 2014
10. BoroIU, A. (2003-2) – *Circulație rutieră*, Editura Universității din Pitești, 2003
13. BoroIU, A., Nicolae, V., Ilie, S., Mitran, G., Ghiold, I., **BoroIU, A-A.** (2011-1) – *Evaluation of the passenger transport demand in the area Pitești – Vedea by using gravitational model*, the 10-th International Automotive Congress “Automotive Engineering and Environment” CAR 2011, 2 - 4.11.2011, Pitești.
15. BoroIU, A., Vieru, I., **BoroIU, A-A.** (2012-1) – *Modelarea matematică a cererii de transport public. Studiu de caz: zona Pitești – Vedea din județul Argeș*, Conferința Națională Științifico-Practică cu participare Internațională “Transport: economie, inginerie și management”, 26-27 Octombrie 2012, Chișinău – Moldova.
16. BoroIU, A., **BoroIU, A-A.**, Neagu, E., Suster, H. (2013-1) – *Study on the regulation of road traffic in the Pitesti area during the rehabilitation of the bridges over the Arges and Doamnei rivers*, 6-th International Conference on Manufacturing Science and Education - MSE 2013, June 12-15 2013, Sibiu.
17. BoroIU, A., **BoroIU, A-A.**, Neagu, E., Mitran, G. (2013-2) – *Road traffic management in the Pitesti area during the rehabilitation of the bridges over the Arges and Doamnei rivers*, în vol. Acta Technica Napocensis Series: Applied Mathematics and Mechanics Nr. XX, 2013, International Congress AMMA 2013, 17-19 octombrie 2013, Cluj-Napoca.
20. **BoroIU, A-A.**, Neagu, E., Mitran, G., Bratu, V. (2014-1) – *The increase of the geographical accessibility of the territory – a decision-making factor for the development of the national road network and the administrative reorganization of Romania*, Scientific Bulletin Automotive Series, Year XX, no. 24 (1), University of Pitesti, 2014.
23. **BoroIU, A-A.**, Neagu, E., Vieru, I., BoroIU, A. (2014-4) – *Use of the fundamental diagram of traffic flow for the organisation of road traffic during the infrastructure rehabilitation works*, 3rd International Congress SMAT, 23-25 octombrie 2014, Craiova.
24. **BoroIU, A-A.**, Neagu, E. (2015-1) – *Trafic rutier și siguranța circulației rutiere. Aplicații*, Editura Universității din Pitești, 2015
25. **BoroIU, A-A.** (2015-2) – *Stadiul actual al metodelor și mijloacelor de evaluare a nivelului de zgomot generat de traficul rutier. Studiu de caz pentru municipiul Pitești*, Raportul de cercetare științifică nr. 2 pentru teza de doctorat, Școala doctorală Ingineria Autovehiculelor, Universitatea din Pitești, decembrie 2015
26. **BoroIU, A-A.** (2016-1) – *Rezultate parțiale privind cercetările teoretice și experimentale pentru modelarea poluării fonice în funcție de traficul rutier. Studiu de caz pentru*

municipiul Pitești, Raportul de cercetare științifică nr. 3 pentru teza de doctorat, Școala doctorală Ingineria Autovehiculelor, Universitatea din Pitești, septembrie 2016

27. **Boroiu, A-A.**, Boroiu, A. (2016-2) – *Evaluarea curenților de trafic din intersecțiile în sens giratoriu pe baza fluxurilor măsurate în puncte fixe*, Conferința Științifică TRANSLU 2016, Politehnica București, în Buletinul AGIR, An XXI, nr. Supliment 2, 2016, ISSN 1224-7928.
28. **Boroiu, A-A.**, Ivan, F., Pârlac, S. (2016-3) – *Modelarea zgomotului rutier*, Editura Universității din Pitești, 2016
29. **Boroiu, A-A.**, Tabacu, I., Pârlac, S., Neagu, E. (2016-4) – *Research on the correlation between the characteristics of traffic at intersections and the road noise level*, Scientific Bulletin Automotive Series, Year XXII, no. 24 (1), University of Pitesti, 2016
32. Bratu, V., Boroiu, A., **Boroiu, A-A.** (2015) – *Quality management system in public transport of persons according to ISO 9001:2008*, 23-nd International Scientific and Technical Conference on Transport, Road-Building, Agricultural, Hoisting & Hauling and Military Technics and Technologies, Trans&MOTAUTO'15, 24-27 July 2015, Varna – Bulgaria
33. Brilon, W. (2007) – *Time dependent delay at unsignalised intersections*, 17-th Symposium of Transportation and Traffic Theory, London Elsevier, 2007
37. Chiru, D., Covaciu, D., Florea, D., Timar, J., Vlase, S. (2009) – *Noise mapping for urban road traffic and its effect on the local community*, The 3-rd International Conference COMEC, Brașov, 29-30 octombrie 2009
42. Dascăl, A., Ivan F. (2014) – *Controlul și reducerea poluării la autovehiculele rutiere*, Editura Pim, Iași, 2014
48. Ene, A. (2015) – *Programare orientată pe obiecte. Lucrări de laborator*, Editura Universității din Pitești, 2015
49. Farcaș, F. (2008) - *Road Traffic Noise. A study of Skåne region*, Master's dissertation, Linköping University, Sweden, 2008
50. Favre, B., Lamure, C. (1987) – *Le bruit de trafic routier. Methodes de prevision*, Synthese Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) no. 8, Lyon, 1987
51. Filip, N., Cordoș, N., Rus, I. (2001) – *Zgomotul urban și traficul rutier*, Ed. Todesco, Cluj-Napoca, 2001
52. Florea, D., Cofaru, C., Șoica, A. (2000) – *Managementul traficului rutier*, Ed. Universitatii Transilvania din Brașov, 2000
54. Ghionea, F. (2004) – *Transport urban. Sistemul*, Ed. MatrixRom, Bucuresti, 2004
55. Golmohammadi, R., Abbaspour, M., Nassiri, P., Mahjub, H. (2009) – *A compact model for predicting road traffic noise*, Iran Journal health and Science Engineering, vol. 6, no. 3, 2009
56. Guarnaccia, C., Lenza, T., Mastorakis, N. (2011) – *A comparison between Traffic Noise Experimental Data and Predictive Models Results*, International Journal of Mechanics, Issue 4, Volume 5, 2011
57. Guarnaccia, C. (2013) – *Advanced Tools for Traffic Noise Modelling and Prediction*, Transactions on Systems, Issue 2, Volume 12, 2013

58. Hall, F.L. (1995) – *Fundamentals of transportation. Traffic stream characteristics*, McMaster University, Ontario, Canada, 1995
59. Hamet, J-F., Lambert, C., Lelong, J. (1998) – *Caracteriser et modeliser le bruit des transports en milieu urbain*, Synthese Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) no. 66, Lyon, 1998
61. Ivan F., Liță, A., Bușoi, A. (2014) – *Metode și mijloace de depoluare a motoarelor pentru automobile*, Editura Matrixrom, București, 2014
62. Ivănescu, M., Parlac, S., Boroșiu, A., Nicolae, V. (2006) – *Researches for evaluating the noise pollution within Pitești city*, în Buletinul Științific al Universității din Pitești, seria Autovehicule Rutiere, anul 12, nr 16, 2006
63. Jain, S.S., Parida, M., Mittal, N. (2006) – *Noise & air pollution modelling for transportation system in Delhi and design of abatement measures*, 22nd ARRB Conference – Research into Practice, Canberra, Australia, 2006
64. Kurakala, V. (2007) – *A GIS-Based Approach for 3D Noise Modelling Using 3D City Models*, Master's dissertation, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 2007
65. Kimber, R.M. (1980) - *The traffic capacity of roundabouts*, TRRL Laboratory Report LR 942. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, England.
66. Lau, A., Lee, Y., Dawdson, B., Mackenzie, N. (2014) – *Noise modeling of road intersections*, Inter-noise Conference, Melbourne, Australia, 2014
67. Leclercq, L. (2002) – *Modélisation dynamique du trafic et applications à l'estimation du bruit routier*, Thèse doctorale, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2002
68. Lyke, D. Edwards, G. Haydon, R. Chioldi (2006) - *Keyboard fundamentals*, vol. 1-2, ediția 6, Stipes Publishing Company, 2006
69. Martin-Gasulla, G., Garcia, A., Tsui-Moreno, A. (2016) – *Benefit Measurement of Metering Signals at Roundabouts with Unbalanced-Flow Patterns in Spain*, Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., January 2016
70. Melencu, T. (2016) – *Măsurarea zgomotului produs de autovehicule*, Revista Autotest Magazin, RAR, martie 2016
72. Minchevici, V. (2007) – *Zgomotul si traficul rutier in Romania*, Simpozionul "Zgomotul ambiental", București, 2007
73. Mishra, M.C. (2010) – *Study and development of road traffic noise model*, Master's dissertation, Thapar University, Patiala, India, 2010
74. Mitran, G. (2012) - *Modelarea poluării atmosferice asociată fluxurilor de autovehicule rutiere în mediul urban*, Universitatea din Pitești, 2012
77. Morel, J. (2012) – *Caractérisation physique et perceptive du bruit routier urbain pour la définition d'indicateurs de gêne sonore en situation de mono-exposition et de multi-exposition en présence de bruit industriel*, Thèse doctorale, L'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat de Lyon
78. Neagu, E. (2003) – *Trafic rutier și siguranța circulației*, Editura Universității din Pitești, 2003

79. Neagu, E., **Boroiu, A-A.**, Rizea, V., Boroiu, A. (2016-1) – *Study of the opportunities of analytical determination of the origin-destination flows in roundabout intersections based on data provided by fixed observers*, 7-th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering - ACME 2016, June 9-10 2016, Iași.
80. Neagu, E., **Boroiu, A-A.**, Ban, S-N. (2016-2) – *The increase of the service level of a road intersection by transforming it into a roundabout intersection*, în vol. Politehnica Press, EAEC-ESFA 2015 Congress, Bucuresti, 25 - 27 noiembrie 2015, București, în Revista RIA nr. 3 / septembrie 2016
81. Neagu, E., **Boroiu, A-A.**, Vieru, I., Boroiu, A. (2016-3) – *Improving the road traffic regulation in the area of roundabout intersections function of the traffic streams size*, CONAT 2016, 26-29.10.2016, Brașov, în vol. Springer 2016, Viena
82. Nicolae V., Boroiu, A., Tabacu, I. Ilie S., Crivac Gh. (2011) - *Studiu privind transportul urban de persoane in zona metropolitana Pitesti si pe ruta Pitesti - Mioveni*, Contract de cercetare nr. 11962/14.12.2010, Beneficiar: Consiliul Județean Arges
84. Olstam, J.J., Tapani, A. (2004) - *Comparison of Car-following Models*, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linkoping – Sweden, 2004
85. Ortuzar, J., Willumsen, L. (2001) - *Modelling transport*, Ed. John Wiley & Sons, London, 2001
87. Pârlac, S., Popa, D., Pandrea, N. (1998) – *Controlul și atenuarea zgomotelor și vibrațiilor la automobile*, Lucrări de laborator, Ed. Univ. din Pitești, 1998
88. Pârlac, S. (2008) - *Combaterea zgomotelor și vibrațiilor*, Editura Universității din Pitești, 2008
89. PCB Piezotronics, Inc (2007) - *Larson-Davies Model 831 Technical Reference Manual*, Provo, Utah, 2007
90. Pereș, Gh., Untaru, M., Seitz, N., Popa, G. (1982) – *Teoria traficului rutier și siguranța circulației*, Reprografia Universității din Brașov, 1982
91. Picu, V. (2015) - *Noise impact assessment using noise maps and noise conflict maps in Brăila – a city situated between the largest Ramsar Romanian Areas: Danube Delta and Brăila Small Island*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 11, No. 1, 2015
92. Picui, M. (2016) - *Controlul și reducerea poluării fonice de către autovehiculele rutiere*, Lucrare de dizertație, Universitatea din Pitești, 2016
93. Pipes, L.A. (1950) – *A proposal Dynamic Analogy of Traffic*, Univ. of California, Institute of Transportation and Traffic Engineering Special Report, Los Angeles, July 1950
94. Progovine, I., R. Herman (1971) - *Kinetic Theory of Vehicular Traffic*, American Elsevier Publishing Co., New York
96. PTV AG (2010-2) - *PTV (Planung Transport Verkehr) Vision, Visum 11,5 - User Manual*, Karlsruhe, 2010
97. PTV AG (2014) - *PTV (Planung Transport Verkehr) Vision, Vissim 7 - User Manual*, Karlsruhe, 2014
98. Quartieri, J., Mastorakis, N., Iannone, G., Guarnaccia, C., D'Ambrosio, S., Troisi, A., Lenza, T. (2010) – *A review of Traffic Noise Predictive Models*, Conference „Recent Advances in Applied and Theoretical Mechanics”, Salerno, Italia, 2010

99. Raicu, Ș. (2007) – *Sisteme de transport*, Ed. AGIR, București, 2007
100. Rajakamara, H.N., Mahalinge Gowda, R.M. (2008) – *Road traffic noise prediction models: a review*, International Journal for Sustainable Development Plannification, Vol. 3, No. 3, Karnataka, India, 2008
101. Rodrigue, J-P (2009) - *The Geography of Transport Systems*, Hofstra University, 2009
102. Rodrigue, J-P et al. (2013) - *Site Web Géographie des Transports*, Hofstra University: Department of Economics and Geography, 2013
107. Sandberg, U. (2001) – *Tyre/road noise – Myths and realities*, in the Proceedings of The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, The Hague, The Netherlands
108. Sarkar, M.K. (2010) - *Evaluation of traffic noise exposure among (traffic) policemen working in Kolkata (Calcutta)*, Jadavpur University, 2010
109. Satmari, A. (2010) - *The role of transit belt-roads in urban traffic noise regime*, Jadavpur University, India, 2010
110. Sharma, A., Bodhe, G.L., Schimak, G. (2014) – *Development of a traffic noise prediction model for an urban environment*, National Environmental Engineering Research Institute, 2014
111. Smith, M., Chiles, S., Urs, G. (2014) – *Web-based calculators for transportation noise and vibration*, Inter Noise Conference, 16-19.11.2014, Melbourne, Australia
113. Sooriyaarachi, R.T., Sonnadara, D.U.J. (2006) – *Development of a Road Traffic Noise Prediction Model*, Proceedings of the Technical Sessions, no. 22, Institute of Physics, Sri Lanka, 2006
114. Steenbrink, P. (1984) - *Optimization of transport network*, Ed. John Wiley & Sons, New York, 1984
117. Tabacu, I., Ivan, F., Nicolae, V., Boroiu, A. et al. (2002) - *Studiu privind optimizarea transportului local de călători în municipiul Pitești prin servicii regulate de transport*, Contract de cercetare nr. 18320/23.05.2002, Beneficiar: Primăria municipiului Pitești
118. Tabacu, I., Nicolae, V., Boroiu, A., Soare, C. (2006-1) – *Designing a new public transport system for Pitești city*, în Buletinul Științific al Universității din Pitești, seria Autovehicule Rutiere, anul 12, nr 16, ISSN 1453-1100, 2006
119. Tabacu, I., Boroiu, A., Nicolae, V., Ivan, F. et al. (2006-2) - *Modernizarea transportului public de persoane în municipiul Pitești. Studiu de fezabilitate*, Contract de cercetare nr. 52230/ 10.11.2006, Beneficiar: Primăria municipiului Pitești
120. Tan, J. (2001) - *Comparison of capacity between roundabout design and signalised junction design*, 1st Swiss Transport Research Conference - STRC 2001, Monte Verità / Ascona
121. Tarko, A., Perez-Cartagena, R. (2005) - *Variability of a peak hour factor at intersections*, Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., January 2005
122. Timar, J. (2010) - *Studii și cercetări privind optimizarea fluxurilor rutiere urbane*, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Brașov, 2010

123. Tolazzi, T., (2015) - *Alternative Types of Roundabouts*, Springer Tracts on Transportation and Traffic 6, Switzerland, 2015
124. Transportation Research Board (TRB) of National Academies of Science (2010) - *Highway Capacity Manual*, Washington, USA, 2010
126. Țârulescu, S. (2009) - *Studii și cercetări privind influența traficului rutier urban asupra emisiilor poluante*, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Brașov, 2009
128. Vasile, O. (2013) – *Acustică tehnică. Îndrumar de laborator*, Editura Politehnica Press, București
129. Voinea, R., Voiculescu, D. (1979) – *Vibrații mecanice*, Atelierul de multiplicare al Institutului Politehnic București, 1979
130. CNADNR (2009) – *Normativ pentru amenajarea intersecțiilor la nivel pe drumuri publice*, Search Corporation, 2009
131. * * * - *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS 90*, Der Bundesminister für Verkehr, 1990
132. * * * - *Planul de acțiune pentru reducerea nivelurilor de zgomot în municipiul Pitești. Raport final* - S.C.INCERTRANS S.A., 2012
133. * * * - STAS 6926/15-92: Automobile. Zgomotul exterior. Niveluri sonore și metode de măsurare
134. * * * - STAS 10795-1-76: *Tehnica traficului rutier. Metode de investigare a circulației. Clasificare*
135. * * * - STAS 11416-80: *Tehnica traficului rutier. Capacitatea de circulație a drumurilor. Prescripții generale de calcul*
136. * * * - STAS 6161/3 -82: *Metode de măsurare a nivelului de zgomot ambiental*
137. * * * - STAS 6156/1986: *Protecția împotriva zgomotului în construcții civile și social-culturale*
138. * * * - STAS 10009/1988: *Limite admisibile ale nivelului de zgomot în mediul urban*
139. * * * - STAS 10144/5-89: *Calculul capacității de circulație a strazilor*
140. * * * - STAS 10144/6-89: *Calculul capacității de circulație a intersecțiilor de străzi*
142. * * * - STAS 4032-2-92: *Tehnica traficului rutier. Terminologie*
143. * * * - SR 10144-4-1995: *Amenajarea intersecțiilor pe străzi. Clasificare și prescripții de proiectare*
144. * * * - SR 10795-2-2001: *Tehnica traficului rutier. Aparat pentru înregistrarea traficului rutier. Clasificare*
145. * * * - SR 7348/2001: *Echivalarea vehiculelor pentru determinarea capacității de circulație*
147. * * * - *Directiva 2002/49/EC a Parlamentului European și a Consiliului din 25 iunie 2002, referitoare la evaluarea și managementul zgomotului ambiental*, Parlamentul European și Consiliul Uniunii Europene
148. * * * - *Hotărâre nr. 321/2005 (r1) din 14/04/2005 privind evaluarea și gestionarea zgomotului ambiental*, republicată în Monitorul Oficial, Partea I nr. 19 din 10/01/2008, Guvernul României

149. * * * - Ordinul Ministrului Sănătății nr. 596/ 1997 pentru aprobarea Normelor de igienă și a recomandărilor privind mediul de viață al populației
150. * * * - Ordinul Ministrului Mediului și Dezvoltării Durabile, al Ministrului Transporturilor, al Ministrului Sănătății Publice și al Ministrului Internelor și Reformei Administrative pentru aprobarea valorilor-limită și a modului de aplicare a acestora atunci când se elaborează planurile de acțiune, pentru indicatorii L_{zsn} și L_{noapte} , în cazul zgomotului produs de traficul rutier pe drumurile principale și în aglomerări, traficul feroviar pe căile ferate principale și în aglomerări, traficul aerian pe aeroporturile mari și/sau urbane și pentru zgomotul produs în zonele din aglomerări unde se desfășoară activități industriale, 2008
151. * * * - O.U.G. nr. 195/2005 din 22/12/2005 privind protecția mediului, aprobată prin Legea nr. 265/2006 și modificată și completată prin O.U.G. nr. 114/2007 din 22/10/2007
152. * * * - *Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans, Recommendations from the SILENCE project on Quieter Surface Transport in Urban Areas*, co-ordinated by AVL List GmbH (Austria), 2008
153. * * * - www.calm-network.com, *Community Noise Research Strategy Plan - Technology Status Report*
155. * * * - *OSHA Technical Manual – Noise – Appendix B*, United States, Department of Labor, 2016
156. * * * - *Planul de acțiune pentru reducerea nivelurilor de zgomot în municipiul Pitești. Raport final* - S.C.INCERTTRANS S.A., 2012
157. * * * - <http://www.calm-network.com>, *Community Noise Research Strategy Plan - Technology Status Report*
158. * * * - <http://www.silence-ip.org/> learning/Planners/SILENCE - *Practitioner Handbook for Local Noise Actions Plan*, 2009
159. * * * - <https://www.vti.se/en/publications/pdf/tyreroad-noise--myths-and-realities.pdf>
160. * * * - <http://www.primariapitesti.ro>
162. * * * - <http://www.heilsound.com>
163. * * * - <http://www.bruitparif.fr>
164. * * * - [http://www.bksv.com/Bruel & Kyaer](http://www.bksv.com/Bruel%20&%20Kyaer)
165. * * * - https://en.wikipedia.org/wiki/GEH_statistic
166. * * * - <http://content.tfl.gov.uk/traffic-modelling-guidelines.pdf>
167. * * * - <http://www.GoogleEarth>
168. * * * - <https://www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/highways-information-portal/tools/road-traffic-noise-calculator>
169. * * * - <https://rigolett.home.xs4all.nl/ENGELS/vlgcalc>
171. * * * - https://www.nh.gov/dot/.../NCHRP572_analysis_NHDOT.xls
172. * * * - <https://en.wikipedia.org/wiki/Microsimulation>
173. * * * - http://www.larsondavis.com/contentstore/mktg/LD_Downloads/831_Lowres.pdf