



UNIUNEA EUROPEANĂ



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



Universitatea
Transilvania
din Brașov

Proiect cofinanțat prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013 Numărul de identificare al contractului: POSDRU/159/1 5/S/134378 Investește în oameni!

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Silvicultură și exploatarea forestieră

Ing. Constantin – Alexandru BRATU

CERCETĂRI ȘI SOLUȚII PRIVIND
INTERSECȚIILE DRUMURILOR FORESTIERE CU DRUMURILE
NAȚIONALE FOLOSIND TEHNOLOGIILE GNSS, CAD ȘI FEM
RESEARCH STUDIES AND SOLUTIONS REGARDING
THE INTERSECTIONS OF FOREST ROADS AND NATIONAL ROADS BY
USING THE GNSS, CAD AND FEM TECHNOLOGIES

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Valentina Doina CIOBANU

BRAȘOV, 2018



UNIUNEA EUROPEANĂ



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



Universitatea
Transilvania
din Brașov

Proiect cofinanțat prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013 Numărul de identificare al contractului: POSDRU/159/1 5/S/134378 Investește în oameni!

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov

Nr. 9302 din 10.07.2018

PREȘEDINTE:

Prof.dr.ing. Stelian Alexandru BORZ

Prodecan Facultatea de Silvicultură și exploatarea forestiere
Universitatea Transilvania din Brașov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof.dr.ing. Valentina Doina CIOBANU

Universitatea Transilvania din Brașov

REFERENȚI:

Prof.dr.ing. Vasile BOBOC

Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași

Conf.dr.ing. Dan ZAROJANU

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

Conf.dr.ing. Rudolf DERCZENI

Universitatea Transilvania din Brașov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: 18.09.2018, ora 11, sala SI2.

(Facultatea de Silvicultură și exploatarea forestiere) a Universității Transilvania din Brașov.

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa alexandru.bratu@unitbv.ro.

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS

	Pg. / Pg. Teză Rez.
PREFAȚĂ	1/1
I. INTRODUCERE	2/2
II. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTIINȚELOR PRIVIND INTERSECȚIILE FORMATE DE DRUMURILE FORESTIERE CU DRUMURILE NAȚIONALE.....	4/3
2.1. ASPECTE PRIVIND DRUMURILE FORESTIERE ȘI NAȚIONALE.....	4/3
2.2. ASPECTE PRIVIND ROSTUL JONȚIONAL FORMAT DE STRUCTURILE RUTIERE AFERENTE DRUMURILOR FORESTIERE, RESPECTIV DRUMURILOR NAȚIONALE	6/4
III. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR.....	16/5
3.1. SCOPUL CERCETĂRILOR.....	16/5
3.2. OBIECTIVELE CERCETĂRILOR	16/5
IV. ANALIZA ELEMENTELOR GEOMETRICE ȘI A INFLUENȚEI ACESTORA ASUPRA TRAFICULUI RUTIER AFERENT INTERSECȚIILOR DRUM FORESTIER - DRUM NAȚIONAL UTILIZÂND TEHNOLOGIA GNSS ȘI APLICAȚII CAD	18/6
4.1. LOCUL CERCETĂRILOR.....	18/6
4.1.1. <i>Localizarea cercetărilor privind determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor DF – DN.....</i>	<i>18/6</i>
4.1.2. <i>Alegerea locațiilor de cercetare privind evaluarea modului prin care traficul auto forestier influențează desfășurarea traficului rutier aferent drumului național în intersecțiile DF – DN</i>	<i>19/7</i>
4.2. MATERIALE ȘI METODE.....	20/8
4.2.1. <i>Determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor drum forestier – drum național utilizând tehnologia GNSS și aplicații CAD</i>	<i>20/8</i>
4.2.1.1. Identificarea intersecțiilor DF - DN situate pe raza județului Braşov	20/8
4.2.1.2. Culegerea datelor.....	24/10
4.2.1.3. Prelucrarea datelor	32/11
4.2.1.4. Analiza datelor	42/17
4.2.2. <i>Determinarea influenței traficului auto forestier asupra traficului rutier aferent drumului național, în intersecțiile DF – DN, utilizând tehnologia GNSS și aplicații CAD</i>	<i>43/18</i>
4.2.2.1. Culegerea datelor utilizând metoda vehiculului martor	43/18
4.2.2.2. Prelucrarea datelor	53/23
4.2.2.3. Analiza datelor	58/26
4.3. REZULTATE ȘI DISCUȚII.....	59/27
4.3.1. <i>Rezultate privind determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor DF – DN</i>	<i>59/27</i>
4.3.2. <i>Rezultate privind evaluarea modului în care traficul auto forestier influențează traficul rutier desfășurat pe drumul național în zona intersecțiilor DF - DN.....</i>	<i>69/33</i>
4.3.2.1. Rezultate privind determinarea valorilor v_{15}^{DN} pentru traficul desfășurat pe drumul național în zona intersecțiilor studiate.....	69/33
4.3.2.2. Rezultate privind determinarea valorilor T_{v15} și D_{v15} aferente manevrelor executate de VMd în intersecțiile DF-DN	72/35
4.3.2.3. Rezultate privind determinarea valorilor T_{v15} și D_{v15} pentru manevrele executate de VMi în intersecțiile DF- DN	81/40
V. CERCETĂRI ȘI SOLUȚII PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA FUNCȚIONALITĂȚII ROSTULUI JONȚIONAL DRUM FORESTIER – DRUM NAȚIONAL UTILIZÂND METODA FEM.....	88/46
5.1. MATERIALE ȘI METODE.....	88/46

5.1.1. Utilizarea Metodei Elementului Finit în calculul structurilor rutiere în context științific internațional	107/46
5.1.2. Instrumentarea Metodei Elementului Finit axial simetrică în determinarea funcționalității rostului joncțional drum forestier – drum național pentru România	111/48
5.1.2.1. Principii și particularități	111/48
5.1.2.2. Stabilirea structurilor rutiere adiacente ce formează un rost joncțional drum forestier – drum național ..	115/51
5.1.2.3. Stabilirea modelelor 2D FEM aferente structurilor rutiere ce formează rost joncțional	120/53
5.1.2.4. Implementarea, discretizarea și calculul modelelor 2D FEM utilizând soft-ul ANSYS™	121/53
5.1.3. Instrumentarea validării metodei utilizate	132/56
5.2. REZULTATE ȘI DISCUȚII.....	133/57
5.2.1. Rezultate privind validarea metodei 2D FEM în calculul structurilor rutiere aferente drumurilor forestiere din România.....	133/57
5.2.2. Rezultate privind compatibilitatea structurilor caracteristice drumurilor forestiere (F1 – F7) cu structura rutieră tipică drumurilor naționale (N1)	136/60
5.2.3. Rezultate privind compatibilitatea rosturilor joncționale la care structura rutieră forestieră împrumută straturile de îmbrăcăminte de la structura aferentă drumurilor naționale (soluțiile S1 și S2)	161/76
5.2.4. Rezultate privind compatibilitatea rosturilor joncționale la care structurile aferente drumurilor forestiere prezintă armare cu geogrilă (soluțiile S3 - S11).....	170/79
5.2.5. Rezultate privind compatibilitatea rosturilor joncționale DF – DN la care structurile aferente drumurilor forestiere prezintă strat de formă realizat prin stabilizarea terenului de fundare cu var, zgură de termocentrală și ciment Portland (S12 – S47)	191/86
5.2.6. Utilizarea rezultatelor obținute în practica din domeniu. Întocmirea unei metode de calcul al unui rost joncțional progresiv	213/106
VI. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	219/112
6.1. CONCLUZII FINALE	219/112
6.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE	224/117
6.3. DISEMINAREA REZULTATELOR	225/118
6.4. DIRECȚII DE CERCETARE	226/119
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	227/120
ANEXE.....	234/124

CONTENTS

	Pg. / Pg. Thesis Abs.
PREFACE	1/1
I. INTRODUCTION	2/2
II. STATE-OF-THE-ART OF KNOWLEDGE CONCERNING THE INTERSECTION OF FOREST AND NATIONAL ROADS	4/3
2.1. ASPECTS REGARDING THE FOREST AND NATIONAL ROADS	4/3
2.2. ASPECTS OF THE JUNCTION BETWEEN THE PAVEMENTS OF THE FOREST AND NATIONAL ROADS	6/4
III. RESEARCH AIM AND OBJECTIVES	16/5
3.1. RESEARCH AIM.....	16/5
3.2. RESEARCH OBJECTIVES.....	16/5
IV. ANALYSIS OF THE GEOMETRICAL ELEMENTS AND THEIR INFLUENCE ON THE ROAD TRAFFIC SPECIFIC TO THE FOREST AND NATIONAL ROAD INTERSECTIONS BY USING THE GNSS TECHNOLOGY AND CAD APPLICATION	18/6
4.1. PLACE OF THE RESEARCH	18/6
4.1.1. <i>Location of the research concerning the determination of geometrical elements of DF-DN intersections</i>	18/6
4.1.2. <i>Selection of the research locations with regard to the forest traffic evaluation influencing the DF-DN intersections of national traffic</i>	19/7
4.2. MATERIALS AND METHODS	20/8
4.2.1. <i>Determination of the geometrical elements of forest and national road intersections by using the GNSS technology and CAD application</i>	20/8
4.2.1.1. Identification of the DF – DN intersections located in Braşov County	20/8
4.2.1.2. Collection of data	24/10
4.2.1.3. Processing of data	32/11
4.2.1.4. Analysis of data	42/17
4.2.2. <i>Determination of the forest traffic influence on the national road traffic in DF-DN intersections by using the GNSS technology and CAD application</i>	43/18
4.2.2.1. Collection of data through the vehicle control method.....	43/18
4.2.2.2. Processing of data	53/23
4.2.2.3. Analysis of data	58/26
4.3. RESULTS AND DISCUSSIONS	59/27
4.3.1. <i>Results regarding the determination of the geometrical elements of the DF-DN intersections</i>	59/27
4.3.2. <i>Results regarding the forest traffic evaluation influencing the DF-DN intersections of national traffic</i>	69/33
4.3.2.1. Results regarding the determination of v_{15}^{DN} values for the national road traffic in the studied intersections area	69/33
4.3.2.2. Results regarding the determination of T_{V15} și D_{V15} values under the movement of VMd in the DF-DN intersections	72/35
4.3.2.3. Results regarding the determination of T_{Vmi} și D_{Vmi} values under the movement of Vmi in the DF-DN intersections	81/40
V. RESEARCH AND SOLUTIONS REGARDING THE JUNCTION IMPROVEMENT BETWEEN THE FOREST ROADS AND NATIONAL ROADS BY USING THE FEM METHOD	88/46
5.1. MATERIALS AND METHODS	88/46



5.1.1. Using Finite Element Method in the calculation of road structures in international scientific context	107/46
5.1.2. Instrumentation of the Finite Element Axisymmetric method to determine the junction between a forest road and national road for Romania	111/48
5.1.2.1. Principles and particularities	111/48
5.1.2.2. Setting of the adjacent pavements that form a junctional groove of forest road and national road	115/51
5.1.2.3. Setting of the 2D FEM models for the pavements that form a junctional groove	120/53
5.1.2.4. Implementing, meshing and calculating 2D FEM models using the ANSYS™ software	121/53
5.1.3. Instrumentation of the method validation	132/56
5.2. RESULTS AND DISCUSSIONS	133/57
5.2.1. Results regarding the validation of the 2DFEM method for the pavements calculation of forest roads in Romania	133/57
5.2.2. Results regarding the compatibility of the forest road structures (F1-F7) with the typical national road structure (N1)	136/60
5.2.3. Results regarding the compatibility of the junctional groove for the pavement taking some layers specific to the national roads (solutions S1 and S2)	161/76
5.2.4. Results regarding the compatibility of the junctional groove for the pavements that present geogrids (solutions S3-S11)	170/79
5.2.5. Results regarding the compatibility of the junctional groove DF-DN for the structures that present a layer made with lime, thermocentre slag and Portland cement (S12 – S47).....	191/86
5.2.6. Practical use of the results. Calculation method for a progressive junctional groove.....	213/106
VI. FINAL CONCLUSIONS. ORIGINAL CONTRIBUTIONS. DISSEMINATION OF RESULTS. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	219/112
6.1. FINAL CONCLUSIONS	219/112
6.2. ORIGINAL CONTRIBUTIONS.....	224/117
6.3. DISSEMINATION OF RESULTS.....	225/118
6.4. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	226/119
REFERENCES	227/120
ANNEXES.....	234/124

LISTĂ DE ABREVIERI

μ	Coeficientul Poisson
K_a	Coeficientul presiunii active
K_p	Coeficientul presiunii pasive
$CMvSn/f$	Compatibilitatea deformațiilor specifice verticale pentru rosturile joncționale
$CDvSn/f$	Compatibilitatea tasărilor diferențiale pentru rosturile joncționale
i_{FI}	Declivitatea longitudinală a drumului forestier în intersecțiile DF - DN
i_F^{max}	Declivitatea longitudinală maximă a unui drum forestier
δ_v	Deformațiile verticale ale structurilor rutiere
ϵ_r	Deformațiile specifice radiale
ϵ_v	Deformațiile specifice verticale
$D_{v15}^{c/r}$	Distanța pentru care camionul sau remorca se deplasează sub $v15^{DN}$
D_{v15}	Distanța pentru care vehiculul martor se deplasează sub $v15^{DN}$
DF	Drum forestier
DN	Drum național
σ_r	Eforturile (tensiunile) radiale
σ_v	Eforturile (tensiunile) verticale
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
γ	Greutatea volumică
h_{sr}	Înălțimea rostului joncțional
l_{FI}	Lățimea drumului forestier în intersecția cu drumul național
l_{sr}	Lungimea rostului joncțional
L_c	Lungimea unei curse efectuate de vehiculul martor între două intersecții
IsD	Manevra de ieșire de pe drumul forestier prin virare dreapta
IsS	Manevra de ieșire de pe drumul forestier prin virare stânga

ItD	Manevra de intrare pe drumul forestier prin virare dreapta
ItS	Manevra de intrare pe drumul forestier prin virare stânga
i_F^{pond}	Media ponderată a declivităţilor longitudinale pentru drumul forestier
i_N^{pond}	Media ponderată a declivităţilor longitudinale pentru drumul naţional
FEM	Metoda Elementului Finit (eng. <i>Finite Element Method</i>)
2D FEM	Metoda Elementului Finit Axial Simetrică
3D FEM	Metoda Elementului Finit Tridimensională
E	Modulul de elasticitate
R_{HF}^{min}	Raza orizontală minimă a drumului forestier
R_{HN}^{min}	Raza orizontală minimă a drumului naţional
S_{H,F}	Sinuozitatea orizontală a drumului forestier
S_{H,N}	Sinuozitatea orizontală a drumului naţional
S_{V,F}	Sinuozitatea verticală a drumului forestier
S_{V,N}	Sinuozitatea verticală a drumului naţional
S1	Şoferul numărul 1
S2	Şoferul numărul 2
S3	Şoferul numărul 3
T_c	Timpul efectuat în parcurgea unei curse între două intersecţii consecutive
T_{v15^{c/r}}	Timpul pentru care camionul sau remorca se deplasează sub v15 ^{DN}
T_{v15}	Timpul pentru care vehiculul martor se deplasează sub v15 ^{DN}
U_i	Unghiul de racordare
VMd	Vehicul martor descărcat
VMi	Vehicul martor încărcat
VMdS1	Vehiculul martor descărcat condus de şoferul numărul 1
VMiS1	Vehiculul martor încărcat condus de şoferul numărul 1
v15^{DN}	Viteza sub care este incomodat traficul rutier pe drumul naţional

PREFAȚĂ

În ultima vreme, în România, siguranța rutieră a devenit o necesitate vitală într-o avalanșă de schimbări majore. Traficul rutier prezintă o diversificare continuă în ceea ce privește caracteristicile vehiculelor participante. În acest context proiectarea drumurilor devine o provocare pentru tehnica actuală. Pasul următor în dimensionarea structurilor rutiere este calculul cu ajutorul metodei elementului finit. Astfel, în etapa de proiectare, modelul structurii rutiere poate fi supus la solicitări cât mai apropiate de cele reale. De asemenea, modul de răspuns al structurii rutiere poate fi aproximat cu destulă acuratețe.

Prezenta lucrare de cercetare a fost realizată sub conducerea științifică și competentă a **doamnei profesor universitar dr. ing. Valentina Doina CIOBANU**, fapt pentru care doresc să îi mulțumesc pentru încrederea, exigența și răbdarea de care a dat dovadă pe întreaga durată a realizării acestei teze de doctorat.

În același timp doresc să mulțumesc **domnului prof. univ. dr. ing. Vasile BOBOC**, din cadrul Universității Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iași, și **domnului conf. dr. ing. Dan ZAROJANU**, din cadrul și Universității „Ștefan cel Mare” din Suceava, pentru implicarea de care au dat dovadă și acceptul de a-mi fi referenți oficiali pentru teza de doctorat.

Mulțumesc tuturor cadrelor didactice din cadrul Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Braşov, în special **domnului prof. univ. dr. ing. Stelian Alexandru BORZ**, **domnului conf. dr. ing. DERCZENI Rudolf**, **domnului prof. univ. dr. ing. Gheorghe IGNEA** și **doamnei ș.l. dr. ing. Elena Camelia MUȘAT** pentru susținere și încurajări oferite pe întreaga durată de cercetare.

De asemenea, doresc să exprim sincere mulțumiri **domnului dr. ing. Dinu COVACIU**, din cadrul Facultății de Mecanică din Braşov, pentru aportul tehnic și sprijinul acordat necondiționat în efectuarea cercetărilor privind traficul rutier. De asemenea, doresc să mulțumesc **doamnei prof. univ. dr. ing. Daniela FLOREA**, din cadrul Facultății de Mecanică din Braşov, pentru sugestiile și recomandările oferite.

Nu în cele din urmă, doresc să mulțumesc familiei mele pentru sacrificiile acceptate în vederea elaborării acestei teze de doctorat, pe care o dedic fiicelor mele, Maria și Elena...

I. Introducere

Drumul forestier și drumul public se pot asimila ca două mulțimi ce înglobează caracteristici tehnice definitorii. Aceste caracteristici sunt comune, complementare sau diferite. Astfel, intersecția celor două drumuri se poate echivala cu intersecția acestor caracteristici. Realizarea efectivă a intersecției, prin îmbinarea tuturor factorilor, cade în sarcina evoluției tehnice actuale, care progresează cu pași mari. Interacțiunea eficientă dintre cele două căi terestre de comunicație conduce implicit la creșterea productivității în transportul forestier și, în același timp, salvează vieți omenești.

În cazul drumului forestier, intersecția cu drumul public reprezintă punctul de început al traseului. Astfel, zona utilă a intersecției devine o suprafață rutieră vitală în desfășurarea transportului forestier. O proiectare deficitară a acestei lucrări inginerești poate cauza pierderi nedorite, materiale și umane, iar o structură rutieră ce prezintă o capacitate portantă depășită poate compromite accesul pe drumul forestier. Astfel, o suprafață rutieră relativ redusă, dar ineficientă, poate compromite traficul forestier pe un drum, ce uneori ajunge la o lungime de zeci de kilometri.

În cazul drumului public, intersecția reprezintă joncțiunea cu un drum adiacent, prin care se debosează trafic de tonaj și gabarit sporite. Astfel, vehiculele care părăsesc drumul forestier sunt vehicule relativ lente, ce transportă sarcini utile de tonaj sporit. Integrarea lentă a acestora în fluxul traficului rutier, aferent drumului public, reprezintă un „obstacol mobil” în calea vehiculelor care circulă cu viteze relativ mari.

Literatura de specialitate din România nu prezintă un punct de vedere detaliat la cele menționate anterior. Geometria intersecției drum forestier – drum public este prevăzută ca fiind o intersecție de tip „T”, cu benzi de accelerare/decelerare, respectiv de încadrare și insule pentru dirijarea traficului. Acest tip de intersecție prezintă o serie de avantaje, dintre care cel mai important constă în menținerea siguranței traficului.

Cele menționate mai sus, relevă o serie de provocări pentru cercetarea desfășurată în această teză, cum ar fi:

Care sunt aspectele reale ale geometriei intersecțiilor drum forestier – drum național construite în România?

Care sunt aspectele teoretice și practice privind relația geometrie – trafic rutier pentru intersecțiile drum forestier – drum național?

Cum se poate realiza racordarea structurilor rutiere aferente celor două tipuri de drum?

II. Stadiul actual al cunoştinţelor privind intersecţiile formate de drumurile forestiere cu drumurile naţionale

2.1. Aspecte privind drumurile forestiere şi naţionale

Drumurile forestiere sunt căi private de comunicaţie terestră cu caracter permanent ce deserveşc, cu precădere, transportul rutier în vederea transportării materialului lemnos şi a efectuării lucrărilor necesare gospodăririi fondului forestier (Ryan *et al.*, 2004; Bereziuc *et al.*, 2008; Normativ PD003-11, 2011).

Drumurile naţionale sunt căi de comunicaţie terestră de utilitate publică ce asigură legătura dintre capitala ţării cu marile oraşe, precum şi dintre România şi ţările vecine. Conform OUG 43/1997, în România drumurile naţionale se clasifică astfel:

- autostrăzi - drumuri de mare viteză prevăzute cu două căi unidirecţionale delimitate de o zonă mediană;
- drumuri expres – drumuri care direcţionează traficul doar în noduri principale;
- drumuri internaţionale (E) – deserveşc traficul internaţional;
- drumuri naţionale – drumuri care deserveşc circulaţia rutieră care asigură legătura capitalei cu localităţile de interes naţional şi judeţean şi care prezintă o intensitate a traficului; mediu zilnic anual de minim 3500 vehicule fizice/zi;
- drumuri naţionale secundare – drumuri care nu se încadrează în tipologiile mai sus menţionate.

Intersecţiile formate prin racordarea unui drum forestier la un drum naţional (public) se prezintă ca fiind lucrări ingineresti ce deserveşc traficul rutier specific celor două tipuri de drumuri. De altfel, amenajarea unei astfel de intersecţii implică următoarele:

- racordarea elementelor geometrice ale drumului forestier la elementele geometrice ale drumului public;
- racordarea celor două tipuri de structuri rutiere intersectate;
- trasarea marcajelor şi amplasarea indicatoarelor de circulaţie rutieră specifice ambelor categorii de drumuri;
- desfăşurarea traficului rutier de la viteze de deplasare impuse circulaţiei auto pe drumul forestier la cele impuse pe un drum public;
- conlucrarea ambelor unităţi administrative în vederea proiectării, execuţiei şi a întreţinerii intersecţiei.

Aşadar, intersecţiile drumurilor forestiere cu drumurile naţionale reprezintă construcţii ingineresti prin care se realizează racordarea, la acelaşi nivel, atât a traseelor geometrice cât şi a celor două structuri rutiere caracteristice fiecărui drum (Figura 2.1). Astfel, pe suprafaţa intersecţiei circulă atât

vehicule de gabarit și tonaj sporite, cu viteze relativ mici, cât și autoturisme ușoare ce se deplasează cu viteze relativ mari (100 km/h), specifice unui drum național. Cele două tipuri de structuri rutiere, aferente fiecărui drum, trebuie să asigure valori similare ale deformațiilor verticale. De asemenea, cele două unități administrative se obligă să asigure o semnalizare rutieră corespunzătoare unui trafic rutier de componență variată.

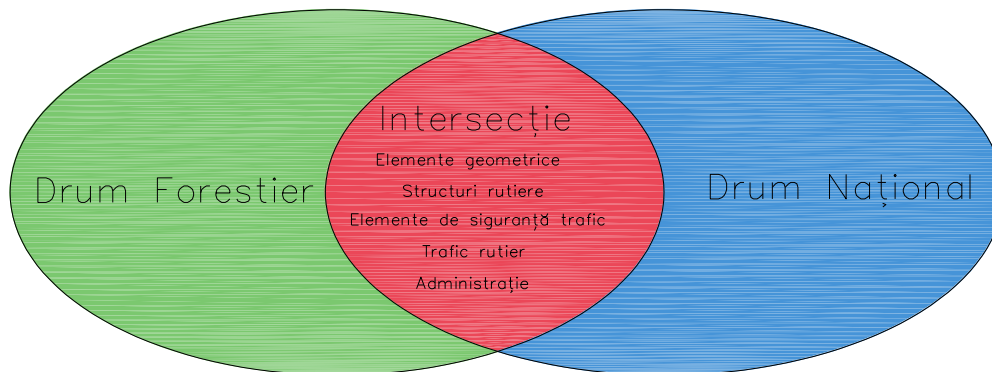


Figura 2.1. Caracteristicile comune ale unei intersecții drum forestier – drum național (autorul)
Characteristics of a forest road - national road intersection

2.2. Aspecte privind rostul joncțional format de structurile rutiere aferente drumurilor forestiere, respectiv drumurilor naționale

Rostul de joncțiune format de intersecția unui drum forestier cu un drum național reprezintă un element de contur comun ambelor structuri rutiere intersectate. Din punct de vedere al poziționării spațiale în ansamblul geometric al unei intersecții în unghi drept, *rostul de joncțiune reprezintă o suprafață geometrică [ABCD], definită în planul vertical (P), ce se află în raport de perpendicularitate cu axul drumului forestier, respectiv de paralelism cu axul drumului național* (Figura 2.2).

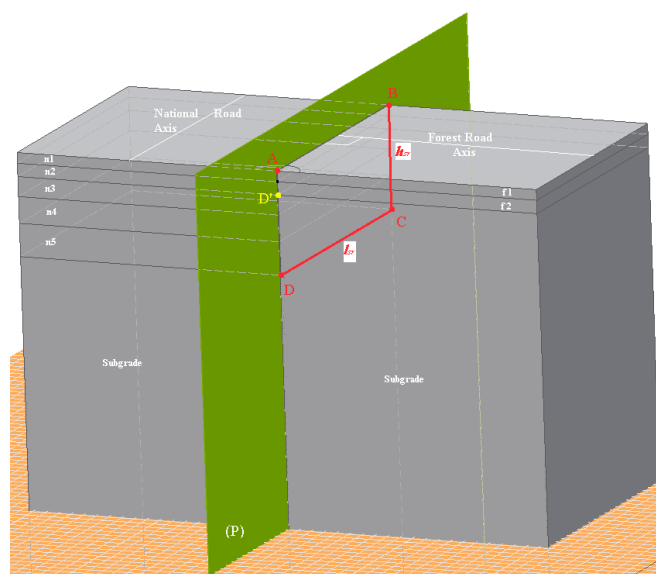


Figura 2.2. Reprezentare schematică 3D a rostului de joncțiune (autorul)
3D schematic representation of junction joint

III. Scopul și obiectivele cercetărilor

3.1. Scopul cercetărilor

Scopul prezentei lucrări este cercetarea și eficientizarea interacțiunii următoarelor caracteristici, aferente intersecțiilor drum forestier – drum național: geometria intersecțiilor, modul de desfășurare al traficului rutier în zona intersecțiilor și comportarea structurilor rutiere în zona de joncțiune aferente celor două drumuri.

3.2. Obiectivele cercetărilor

Obiectivele cercetărilor au fost impuse de parcurgerea etapelor logice în vederea îndeplinirii scopului și fac referire la:

1. Determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale, situate pe raza județului Braşov:

- a. identificarea și măsurarea topografică a intersecțiilor drum forestier – drum național din județul Braşov;
- b. analiza elementelor geometrice ale intersecțiilor studiate;

2. Analiza modului în care traficul auto forestier se integrează în fluxul de trafic rutier desfășurat pe drumul public (național):

- a. determinarea vitezei de deplasare până la care vehiculul forestier incomodează traficul rutier aferent drumului național;
- b. determinarea valorilor temporale și de lungime pentru care vehiculul forestier încărcat/descărcat, ce părăsește/accede drumul forestier, reprezintă un obstacol pentru participanții la traficul aferent drumului național;
- c. analiza corelației dintre valorile temporale și de lungime anterior determinate și valorile unghiurilor de racordare a intersecțiilor drum forestier – drum național;

3. Calculul și îmbunătățirea funcționalității rostului joncțional drum forestier – drum național utilizând metoda elementului finit axial simetrică:

- a. realizarea unor modele matematice prin care se descriu starea de eforturi și deformații dezvoltate în zona unui rost joncțional drum forestier – drum național;
- b. implementarea și validarea metodei elementului finit în calculul structurilor rutiere forestiere;
- c. propunerea și analiza unor soluții tehnice privind îmbunătățirea compatibilității structurilor rutiere ce formează un rost joncțional drum forestier – drum național;
- d. dezvoltarea unui model de calcul privind realizarea unui rost joncțional la care valorile compatibilităților să fie optimizate.

IV. Analiza elementelor geometrice și a influenței acestora asupra traficului rutier aferent intersecțiilor drum forestier - drum național utilizând tehnologia GNSS și aplicații CAD

4.1. Locul cercetărilor

4.1.1. Localizarea cercetărilor privind determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor DF - DN

Localizarea cercetărilor, prezentată în Figura 4.1, este definită de zonele de amplasament ale intersecțiilor formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale, situate pe raza județului Braşov, România. Aşadar, din punct de vedere al poziţionării geografice, regiunea de cercetare se regăseşte în interiorul arcului format de Munţii Carpaţi. În consecinţă, relieful este reprezentat atât de zonele Depresiunilor Braşov și Făgăraş, cât și de zonele cu relief montan.

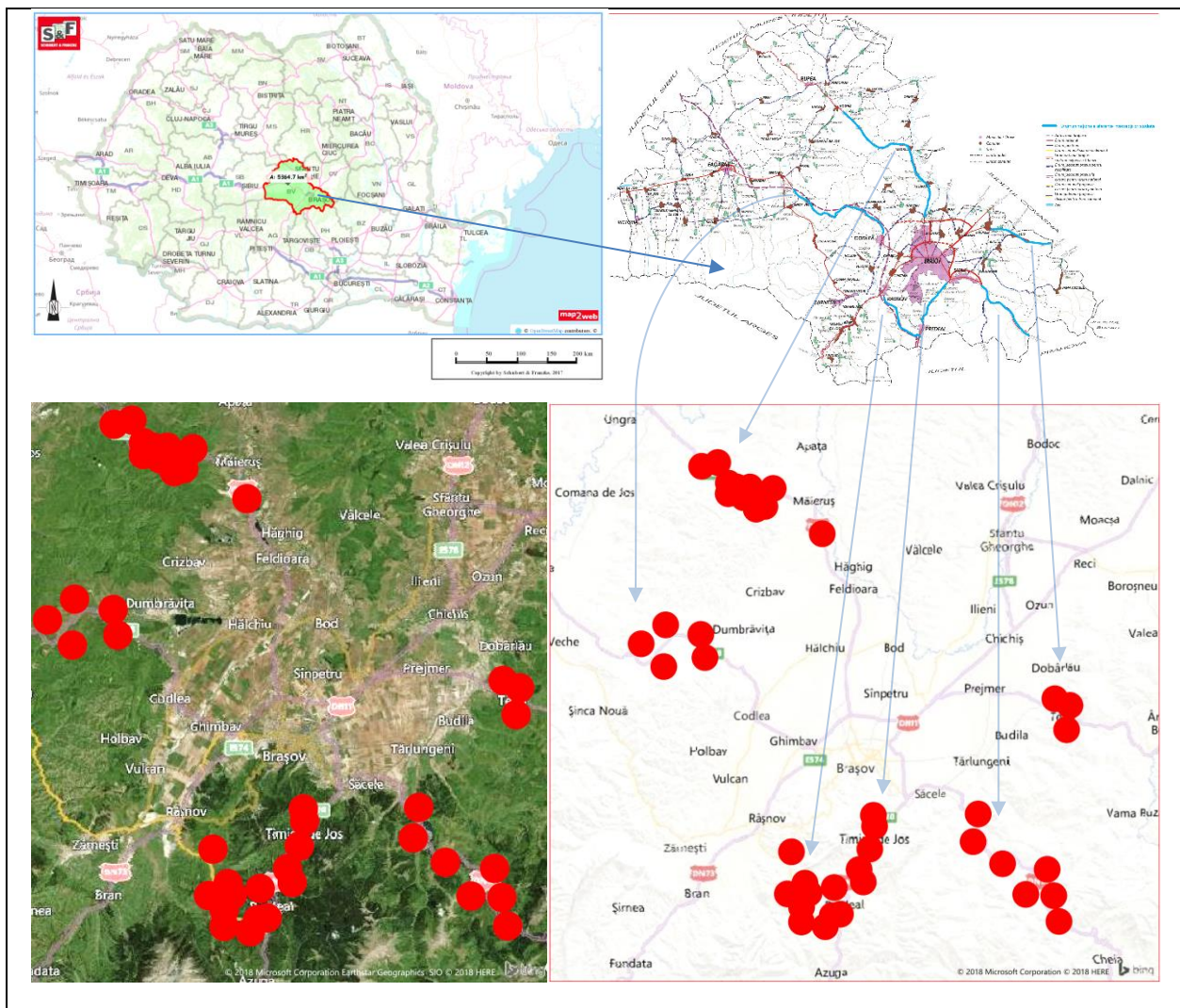


Figura 4.1. Locul cercetărilor (Schubert&Franzke™; www.cjbrasov.ro; AutoCAD™)
 The research region location

Această zonă de cercetare a fost aleasă datorită reprezentativității acesteia în ceea ce privește numărul crescut de intersecții DF - DN. De asemenea, este o zonă preponderent montană ce prezintă

suprafețe generoase aferente fondului forestier din România. În consecință, se poate menționa că zona supusă cercetărilor este una reprezentativă pentru intersecțiile formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale.

4.1.2. Alegerea locațiilor de cercetare privind evaluarea modului prin care traficul auto forestier influențează desfășurarea traficului rutier aferent drumului național în intersecțiile DF - DN

Localizarea cercetărilor privind analiza traficului rutier, aferent intersecțiilor DF - DN, este ilustrată în Figura 4.2. Astfel, cercetările efectuate cu vehiculul martor în stare descărcată se vor efectua în intersecțiile aferente zonei B, formate din intersectarea drumului public DN 1A cu următoarele drumuri forestiere: D 153, D 127, D 152, D 134, D 177 și D 178. S-au ales aceste intersecții deoarece prezintă o mare variabilitate a elementelor geometrice aferente.

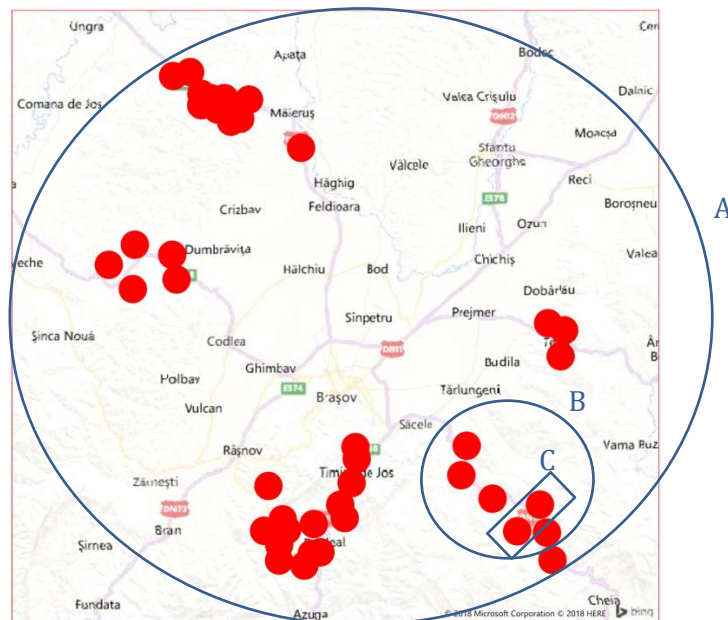


Figura 4.2. Alegerea locațiilor privind analiza de trafic rutier desfășurat în intersecțiile DF - DN (zonele B și C) (AutoCAD™)
The locations chosen for analysis of road traffic in DF - DN intersections

Cercetările efectuate cu vehiculul martor încărcat cu sarcina utilă maximă s-au efectuat în intersecțiile poziționate în zona C din figura de mai sus. Acestea sunt formate prin intersectarea drumului public DN 1A cu D 127 și D 157. Având în vedere că experimentul s-a efectuat cu un vehicul martor încărcat cu sarcina utilă maximă, alegerea acestor intersecții a fost impusă atât de criteriile economice, cât și de parametrii de funcționare ai vehiculului subiect. Zona A însumează toate cele 41 de intersecții și reprezintă locațiile în care vor fi determinate elementele geometrice prin măsurători topografice.

4.2. Materiale și metode

4.2.1. Determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor drum forestier – drum național utilizând tehnologia GNSS și aplicații CAD

4.2.1.1. Identificarea intersecțiilor DF - DN situate pe raza județului Braşov

În Tabelul 4.1 sunt prezentate inventarierea completă și localizarea în teren pentru intersecțiile DF – DN, aflate pe raza județului Braşov. După cum se observă în coloana (2), drumurile naționale ce străbat intersecțiile vizate sunt: DN 10, DN 13, DN 73A, DN 1 respectiv DN 1A. În coloana (3) sunt prezentate denumirile drumurilor forestiere în ordinea pozițiilor kilometrice ale drumurilor naționale. Denominațiunile drumurilor forestiere au fost identificate în conformitate cu hărțile amenajistice. Totuși, denumirile pentru drumurile forestiere D 1.2, D 1.2, D 2, D 3, D 4, D 5, D 6 și D 7 nu au fost prezentate în documentația menționată. Drumul forestier ce prezintă denumirea „Trafanga” este singurul drum forestier ce prezintă forma „Y”, fapt pentru care prezintă două racordări (D 1.1, D 1.2) cu drumul național DN 10. În coloana (4) sunt prezentate direcțiile de desprindere (detaşare) a drumurilor forestiere din drumul național. Determinarea pozițiilor kilometrice (coloana (5)) a punctelor de intersectare s-a realizat prin raportarea la bornele kilometrice poziționate în zona drumurilor naționale. Coordonatele geografice, prezentate în coloana (6), reprezintă poziționarea punctului de intersectare a celor două axe aferente drumurilor intersectate. Aceste coordonate au fost determinate în teren utilizând un GPS geodezic performant. În ultimele două coloane (7 și 8) sunt prezentate lungimile măsurate pentru drumurile intersectate, aferente celor 41 de intersecții studiate. Lungimea totală a celor 81 de trasee intersectate este de 16,63 km.

Tabelul 4.1. Identificarea intersecțiilor DF – DN din județul Braşov
Identification of DF - DN intersections in Brasov county

Nr.crt	Denumire drum național (DN)	Denumire drum forestier (DF)	Direcția de desprindere a drumului forestier	Poziția kilometrică aferentă drumului național	Coordonate geografice [Longitudine/ Latitudine]	Lungime măsurată [m]	
						DF	DN
1	2	3	4	5	6	7	8
1	DN 10	D 1.1	stânga	km 128+800	E025° 53' 25.65" N045° 41' 21.36"	145.86	223.78
2		D 1.2	stânga	km 128+835	E025° 53' 24.17" N045° 41' 21.92"	41.07	
3		D 2	dreapta	km 129+500	E025° 52' 45.34" N045° 41' 29.95"	132.72	271.73
4		D 3	dreapta	km 129+985	E025° 51' 46.30" N045° 41' 51.03"	86.44	262.23
5	DN 13	D 681	stânga	km 24+935	E025° 32' 39.60" N045° 52' 12.44"	109.57	318.80
6		FE 043	stânga	km 33+700	E025° 27' 15.83" N045° 53' 51.36"	74.33	340.49
7		FE 41	dreapta	km 34+200	E025° 28' 22.42" N045° 54' 19.13"	147.57	275.26
8		D 880	stânga	km 34+299	E025° 26' 55.98" N045° 53' 43.39"	40.71	316.27
9		D 4	stânga	km 37+300	E025° 26' 17.23" N045° 53' 58.24"	89.71	144.16
10		D 104	stânga	km 38+900	E025° 25' 26.54" N045° 54' 26.43"	82.17	307.29

Tabelul 4.1. Identificarea intersecțiilor DF – DN din județul Braşov
Identification of DF - DN intersections in Brasov county

Nr.crt	Denumire drum național (DN)	Denumire drum forestier (DF)	Direcția de desprindere a drumului forestier	Poziția kilometrică aferentă drumului național	Coordonate geografice [Longitudine/ Latitudine]	Lungime măsurată [m]	
						DF	DN
1	2	3	4	5	6	7	8
11		FE 014	stânga	km 40+850	E025° 24' 39.95" N045° 54' 49.24"	65.52	261.93
12		D 5	dreapta	km 43+800	E025° 24' 49.28" N045° 54' 42.64"	68.23	196.54
13		D 6	dreapta	km 43+900	E025° 23' 15.02" N045° 56' 22.21"	144.00	179.59
14		FE 004	stânga	km 45+841	E025° 22' 16.43" N045° 56' 53.61"	84.02	256.40
15		D 110	dreapta	km 0+549	E025° 33' 40.07" N045° 29' 22.63"	60.59	471.53
16		D 108	dreapta	km 0+750	E025° 33' 30.30" N045° 29' 20.87"	103.17	268.50
17		D 117	stânga	km 1+899	E025° 32' 45.83" N045° 29' 33.59"	121.97	180.91
18		FE 044	dreapta	km 3+400	E025° 31' 47.08" N045° 29' 54.31"	75.77	237.81
19	DN 73A	D 107	stânga	km 4+200	E025° 31' 09.86" N045° 29' 55.70"	94.34	200.97
20		D 156	dreapta	km 11+093	E025° 30' 27.86" N045° 31' 23.81"	42.33	207.88
21		D 157	stânga	km 11+901	E025° 30' 03.53" N045° 31' 43.13"	161.21	328.24
22		D 152	dreapta	km 15+024	E025° 29' 18.72" N045° 33' 15.22"	136.33	440.86
23		D 160	stânga	km 15+244	E025° 28' 53.44" N045° 33' 20.34"	177.62	329.76
24		D 114	stânga	km 147+991	E025° 34' 19.47" N045° 31' 27.69"	90.29	174.50
25		D 188	dreapta	km 148+250	E025° 35' 10.25" N045° 32' 07.97"	70.36	193.41
26		D 186	dreapta	km 150+233	E025° 35' 23.97" N045° 32' 21.28"	81.11	316.44
27		D 184	dreapta	km 150+802	E025° 35' 25.09" N045° 32' 37.84"	107.29	255.65
28		D 191	dreapta	km 155+299	E025° 37' 03.93" N045° 34' 35.05"	95.37	333.02
29	DN 1	D 110 (FE 021)	stânga	km 156+420	E025° 37' 29.29" N045° 35' 04.08"	53.54	266.66
30		D 76 (FE 09)	stânga	km 193+450	E025° 23' 20.27" N045° 45' 30.51"	250.13	320.64
31		D 74	stânga	km 194+176	E025° 22' 53.33" N045° 45' 46.99"	60.55	436.90
32		D 7	dreapta	km 198+073	E025° 14' 00.42" N045° 46' 14.30"	232.62	283.75
33		D 82	stânga	km 200+900	E025° 18' 15.39" N045° 44' 44.76"	225.26	477.63
34		D 48	dreapta	km 201+003	E025° 18' 43.25" N045° 45' 05.94"	128.67	933.00
35		D 155	stânga	km 163+900	E025° 52' 16.35" N045° 29' 33.65"	92.20	178.06
36		D 153 (FE 011)	dreapta	km 166+472	E025° 50' 46.87" N045° 30' 54.10"	95.28	159.95
37		D 127 (FE 014)	stânga	km 167+601	E025° 50' 40.85" N045° 31' 00.83"	97.23	368.53
38	DN 1A	D 152 (FE 010)	dreapta	km 169+223	E025° 50' 23.78" N045° 32' 13.09"	169.87	298.82
39		D 134 (FE 031)	stânga	km 175+610	E025° 47' 05.54" N045° 33' 08.88"	117.18	265.93
40		D 177 (FE 032)	stânga	km 179+655	E024° 47' 11.95" N046° 26' 03.61"	164.11	308.77
41		D 178 (FE 033)	stânga	km 181+246	E025° 45' 14.01" N045° 35' 23.93"	121.42	503.45
TOTAL [m]						16633.77	

4.2.1.2. Culegerea datelor

Măsurarea în teren a elementelor geometrice, aferente intersecțiilor DF – DN, s-a realizat prin utilizarea următoarelor aparate:

- Stație topografică Leica TC(R) 805 (Figura 4.3, a);
- GPS geodezic Leica GS 12 – CS 15 (Figura 4.3, b).



Figura 4.3. Instrumente utilizate pentru măsurarea elementelor geometrice ale intersecțiilor DF -DN (autorul)

a) Stația totală Leica TC(R) 805; b) GPS geodezic Leica GS12 -CS 15

*Tools used to measure the geometry of intersections DF -DN
 Total station Leica TC(R) 805; b); GPS receiver Leica GS12 -CS 15*

Stația totală Leica TC(R) 805 este unul dintre cele mai avansate instrumente topografice și se prezintă ca un tahimetru electronic ce poate determina, cu o precizie ridicată, coordonatele și cotele punctelor măsurate (Dima *et al*, 2007). Cel de-al doilea instrument utilizat, în măsurarea elementelor geometrice ale intersecțiilor formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale, este un receptor GPS de tip geodezic, alcătuit din două părți componente principale: antena GPS Leica GS 12 și controler Leica CS 15.

4.2.1.3. Prelucrarea datelor

Prelucrarea datelor, înregistrate în teren, s-a realizat cu ajutorul software-ului AutoCAD™. Pe parcursul cercetărilor s-au utilizat mai multe versiuni ale soft-ului menţionat, dintre care: Autocad CIVIL 3D 2017, 2019 – *Student Version*. De asemenea, pentru accesarea unor funcţii privind normele româneşti de proiectare a drumurilor s-a instalat extensia *Romanian Language Pack*.

Inserarea datelor s-a realizat prin apelarea funcţiei „*Insert points*”, după care s-a ales formatul aferent rezultatelor înregistrate. Pentru cercetarea actuală s-a utilizat formatul PNEZD (Punct, Nord, Est, Cotă, Denumire) Procesarea suprafeţei tridimensionale (3D) a fost realizată prin metoda **TIN** (*eng. Triangulated Irregular Network*). În acest sens, în soft-ul AutoCAD™ s-au apelat funcţiile “*Create Surface*” şi “*Triangulaţie Existent*” (Figura 4.4). Practic, prin utilizarea acestor comenzi s-a realizat o suprafaţă 3D primară ce a necesitat o serie de îmbunătăţiri. Printre aceste îmbunătăţiri se numără şi excluderea punctelor ce au fost măsurate prin funcţia „*Trigger Key*” a staţiei TC(R) 805. De regulă, prin utilizarea acestei funcţii s-au măsurat punctele aferente stâlpilor electrici, clădiri, arbori etc. Acestea prezintă o importanţă deosebită în planul de situaţie sau în determinarea aproximativă a unor cote ce nu puteau fi măsurate prin vizare către prisma optică.

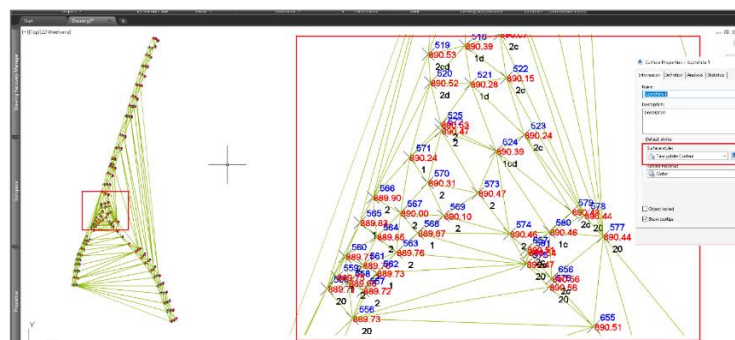


Figura 4.4. Procesarea suprafeţei 3D a intersecţiei măsurate (AutoCAD™)
Processing the 3D surface of the measured intersection

După efectuarea îmbunătăţirilor de rigoare aplicate suprafeţei primare, s-a obţinut suprafaţa 3D necesară trasării profilului longitudinal aferent celor două drumuri intersectate (Figura 4.5).

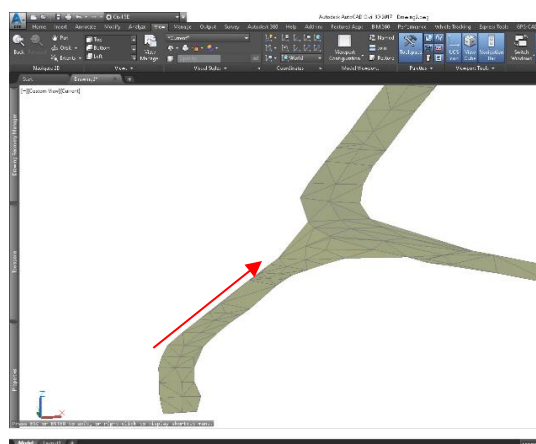


Figura 4.5. Suprafaţa 3D a unei intersecţii DF - DN (AutoCAD™)
3D surface modeling of a DF - DN intersection (AutoCAD™)

În prima fază a determinării valorilor elementelor geometrice în planul orizontal, s-au proiectat axele celor două drumuri intersectate utilizând funcția „Polyline”, după care s-au trasat, sub formă de „Object”, cele două trasee primitive. Proiectarea în planul orizontal a traselor definitive s-a realizat într-un mod interactiv cu ajutorul funcției „Alignment”. După proiectarea axelor, s-a realizat etichetarea tuturor elementelor geometrice ce se constituie ca părți componente ale intersecțiilor studiate. Așa cum se observă în Figurile 4.6, 4.7 și 4.9, etichetarea curbilor orizontale s-a realizat prin aplicarea denumirațiilor C_1, C_2, C_3, \dots . Similar, s-a efectuat și etichetarea aliniamentelor nou formate prin atașarea denumirațiilor L_1, L_2, L_3, \dots . Pentru fiecare curbă și aliniament s-au generat, sub formă tabelară, valorile specifice. Astfel, pentru curbe s-au expus următoarele caracteristici: denumire/număr curbă (de exemplu C_1), unghiul dintre aliniamente (U), raza curbei (R), lungimea tangentei (T), lungimea bisectoarei (B), respectiv lungimea curbei (L). De asemenea, în prezentarea caracteristicilor geometrice ale aliniamentelor s-au generat următoarele: denumire/număr aliniament (de exemplu L_1), lungimea aliniamentului, direcția de orientare, coordonatele punctelor de capăt (început și sfârșit).

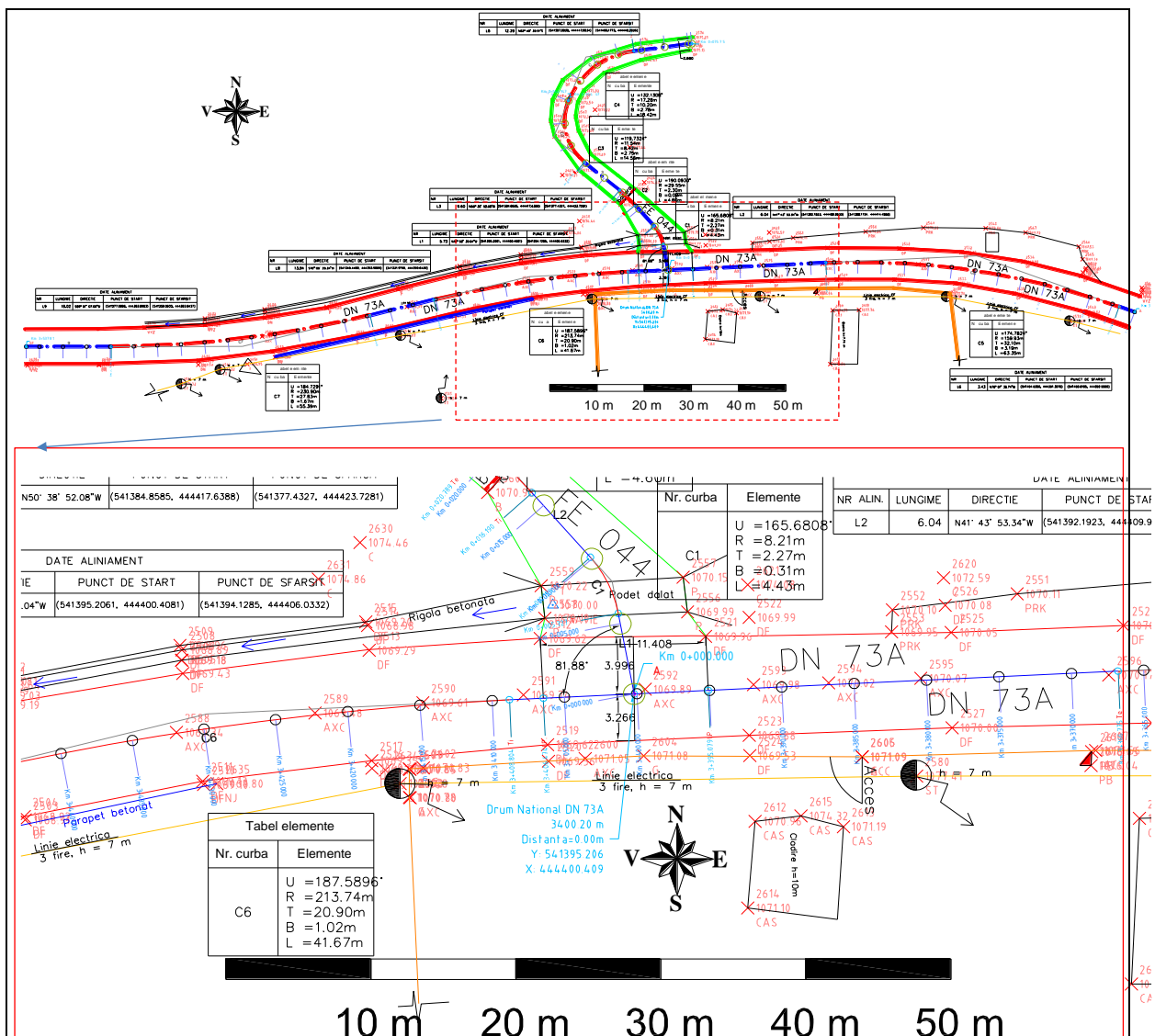


Figura 4.6. Prezentarea valorilor elementelor geometrice în planul orizontal al intersecției DN 73A - FE 044 (AutoCAD™)
Geometric entities values shown in horizontal plane of the intersection DN 73A - FE 044 (AutoCAD™)

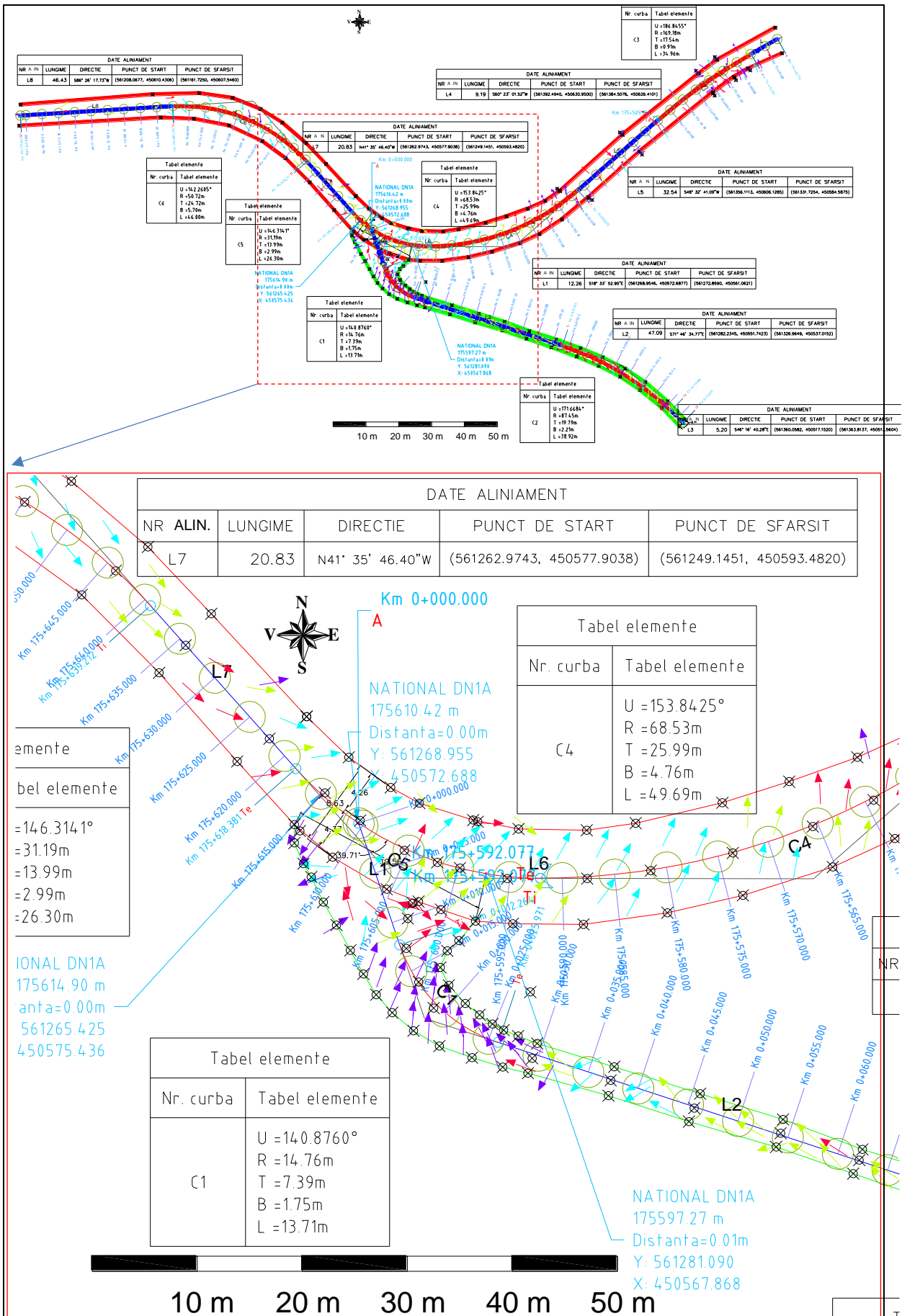


Figura 4.7. Prezentarea valorilor elementelor geometrice în planul orizontal al intersecției DN 1A - D 127 (AutoCAD™)
Geometric entities values shown in horizontal plane of the intersection DN 1A - D 127 (AutoCAD™)

În Figura 4.7 este prezentată, în plan orizontal, intersecția aferentă drumului național DN 1A cu drumul forestier D 127 („Tărlung”). Săgețile multicolore aflate pe partea carosabilă a drumurilor intersectate reprezintă pantele de scurgere a apelor din precipitațiile atmosferice pe suprafața intersecției măsurate. Această funcție CAD este deosebit de importantă când se dorește determinarea modului în care apele meteorice se scurg de pe suprafața drumului forestier pe cea a drumului public. Ca urmare a acestei analize se poate lua decizia de amplasare în zona joncțională a unui podeț sau a unor rigole casetate. Gama de culori reprezintă mărimea declivităților de scurgere, unde culoarea verde reprezintă pantele cele mai reduse.

Determinarea elementelor geometrice în *planul vertical* s-a realizat prin determinarea acestora în profilele longitudinale aferente fiecărui drum intersectat. Oricum, parcurgerea acestei etape a fost mult facilitată de efectuarea etapelor premergătoare pentru determinarea caracteristicilor în planul orizontal (de exemplu generarea suprafeței 3D a intersecției măsurate).

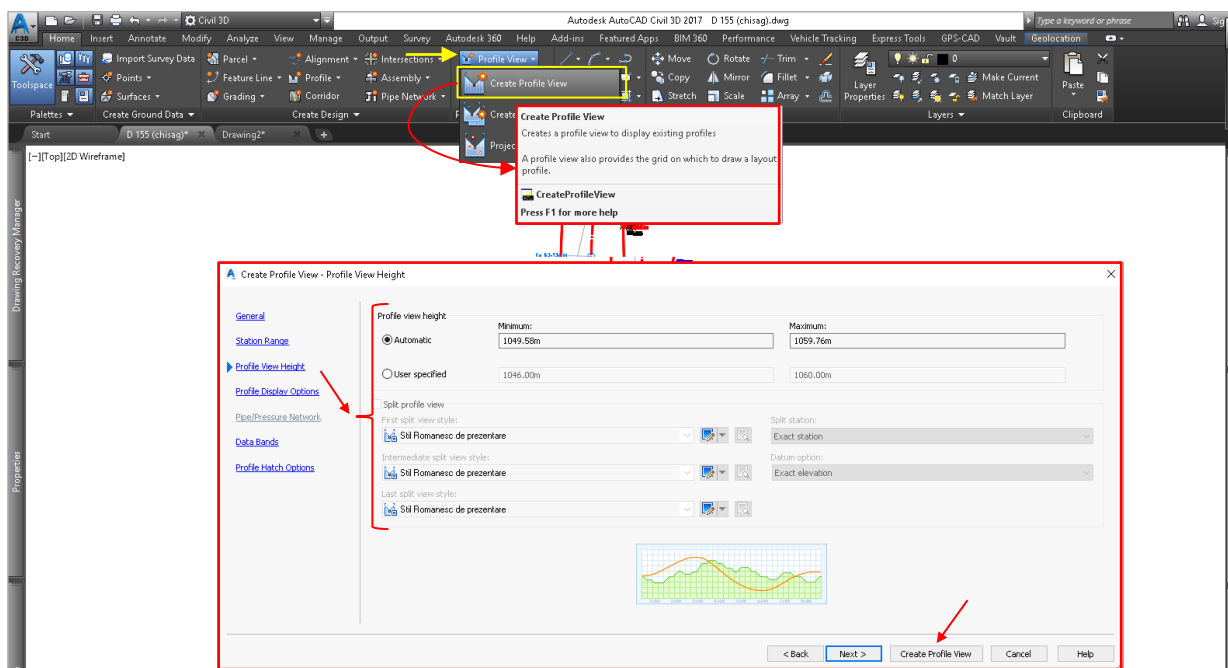


Figura 4.8. Accesarea funcției „Profile View” (AutoCAD™)
Use of the „Profile View” function (AutoCAD™)

Procesarea profilelor longitudinale s-a realizat prin accesarea funcției „Profile View”, aferentă soft-ului AutoCAD™ (Figura 4.8). Aspectul structural și etichetarea s-au impus a se efectua în conformitate cu cerințele românești de proiectare. Aceasta a fost posibilă prin alegerea modelului de afișare „*Stil Românesc de prezentare*”, aferent extensiei românești a soft-ului. Abaterea liniei roșii proiectate față de cea măsurată este identică cu cea utilizată la geometrizarea axului în planul orizontal.

Pentru exemplificarea modului de prelucrare a datelor privind elementele geometrice în planul vertical al intersecțiilor DN – DF, se prezintă inițial intersecția DN 1 - D 114 în plan orizontal (Figura 4.9), după care se ilustrează profilele longitudinale aferente și generate utilizând aplicația CAD (Figura 4.10).

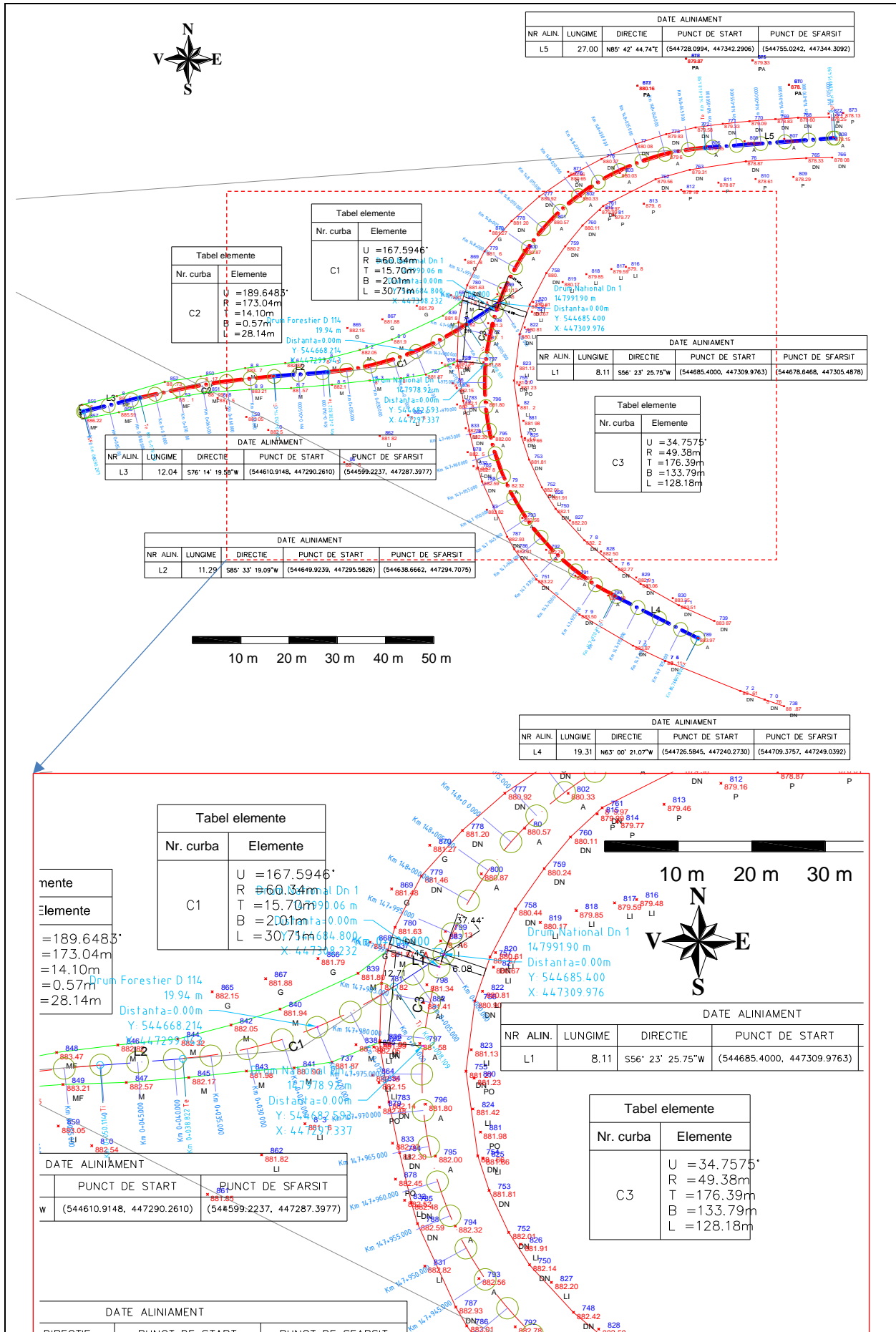


Figura 4.9. Prezentarea valorilor elementelor geometrice în planul orizontal al intersecţiei DN 1 – D 114 (AutoCAD™)
Geometric entities values shown in horizontal plane of the intersection DN 1 – D 114 (AutoCAD™)

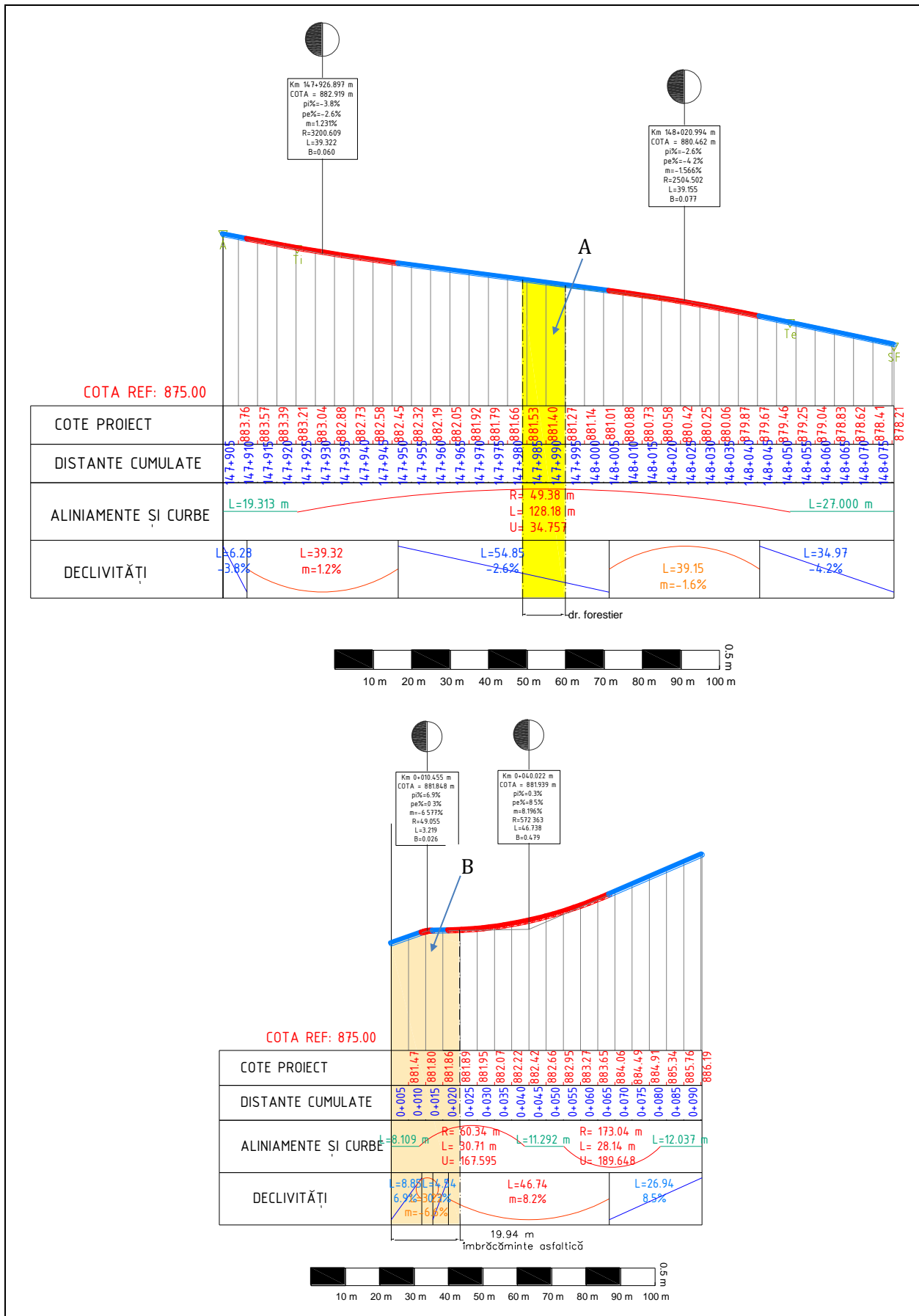


Figura 4.10. Prezentarea valorilor elementelor geometrice în planul vertical al intersecţiei DN 1(sus) – D 114 (jos) (AutoCAD™)

Geometric entities values shown in vertical plane of the intersection DN 1 (top) – D 114 (bottom) (AutoCAD™)

În Figura 4.10 sunt prezentate atât profilul longitudinal al drumului național DN 1, km 147+905 – km 148+075, cât și cel aferent drumului forestier D 114, km 0+005 – km 0+090. Ambele trasee se intersectează în dreptul poziției kilometrice 147+991,90 a drumului național. În ilustrarea elementelor geometrice în planul vertical s-au selecționat următoarele aspecte: cote proiect, distanțe cumulate, caracteristicile curbilor și aliniamentelor orizontale. De asemenea, s-au evidențiat și declivitățile longitudinale. Cotele proiect și distanțele cumulate sunt prezentate la o distanță de 5,00 m. În profilul vertical obținut se poate evidenția zona în care drumul forestier intersectează drumul național (zona A din Figura 4.10). Astfel, urmărind pe direcție verticală aria A, se pot observa caracteristicile elementelor geometrice ale drumului național aferente detașării drumului forestier. Spre exemplu, în cazul prezentat în Figura 4.10 (sus), se observă că drumul forestier se intersectează cu drumul național în curba orizontală C_3 ($R=49,38$ m, $L=128,18$ m, $U=34,76^\circ$), respectiv în pasul de proiectare ce prezintă lungimea egală cu 54,85 m și o declivitate longitudinală de -2,60%. De asemenea, urmărind zona B din profilul longitudinal al drumului forestier se poate determina lungimea (în cazul prezentat de 19,94 m) pentru care drumul respectiv prezintă îmbrăcăminte asfaltică.

4.2.1.4 Analiza datelor

Analiza datelor obținute se va realiza statistic și va cuprinde prezentarea principalelor elemente geometrice atât în plan orizontal, cât și în plan vertical pentru intersecțiile DF -DN din județul Braşov. Caracteristicile elementelor orizontale analizate sunt: unghiul de intersecție (U_i), valorile aferente lăţimii de intersecție a drumului forestier (l_{F_i}), valorile ce definesc lăţimile minime aferente drumurilor forestiere ($l_{F_i}^{\min}$), lăţimea drumurilor naţionale în dreptul punctului de intersecție (l_{N_i}), razele minime aferente drumurilor forestiere ($R_{H,F}^{\min}$) și drumurilor naţionale ($R_{H,N}^{\min}$), valorile indicilor privind sinuozitatea (şerpuirea) orizontală a drumului forestier ($S_{H,F}$) respectiv a drumului naţional ($S_{H,N}$) și lungimile aferente drumurilor forestiere ce prezintă îmbrăcăminte asfaltică. În ceea ce priveşte reprezentarea intersecțiilor în plan vertical, s-au analizat următoarele aspecte: declivitatea longitudinală a drumului forestier în zona rostului de joncțiune (i_{F_i}), declivitatea longitudinală maximă a drumurilor forestiere măsurate, ($i_{F_i}^{\max}$), valorile privind media ponderată a declivităților longitudinale a drumurilor forestiere și naţionale ($i_{F_i}^{\text{pond}}$ și $i_{N_i}^{\text{pond}}$) și valorile indicilor privind sinuozitatea (şerpuirea) verticală a drumului forestier ($S_{V,F}$) și naţional ($S_{V,N}$).

4.2.2. Determinarea influenţei traficului auto forestier asupra traficului rutier aferent drumului naţional, în intersecţiile DF - DN, utilizând tehnologia GNSS şi aplicaţii CAD

4.2.2.1. Culegerea datelor utilizând metoda vehiculului martor

Achiziţia datelor pentru determinarea influenţei traficului auto forestier asupra traficului rutier de pe drumul naţional, în intersecţiile DF- DN, s-a realizat cu ajutorul următoarelor instrumente:

- Receptor GPS Garmin™ 18x – 5Hz cu sistem de achiziţie propriu DS-5, dezvoltat în limbajul Borland Delphi, ce rulează pe o unitate Asus™ R2E BH050E (Figura 4.11, a);
- Receptoare PA6H – 20 Hz cu dispozitiv de achiziţie propriu DL 10 (Figura 4.11, b);
- GPS geodezic Leica™ GS 12 – CS 15; GPS geodezic Stonex™ S9III+.

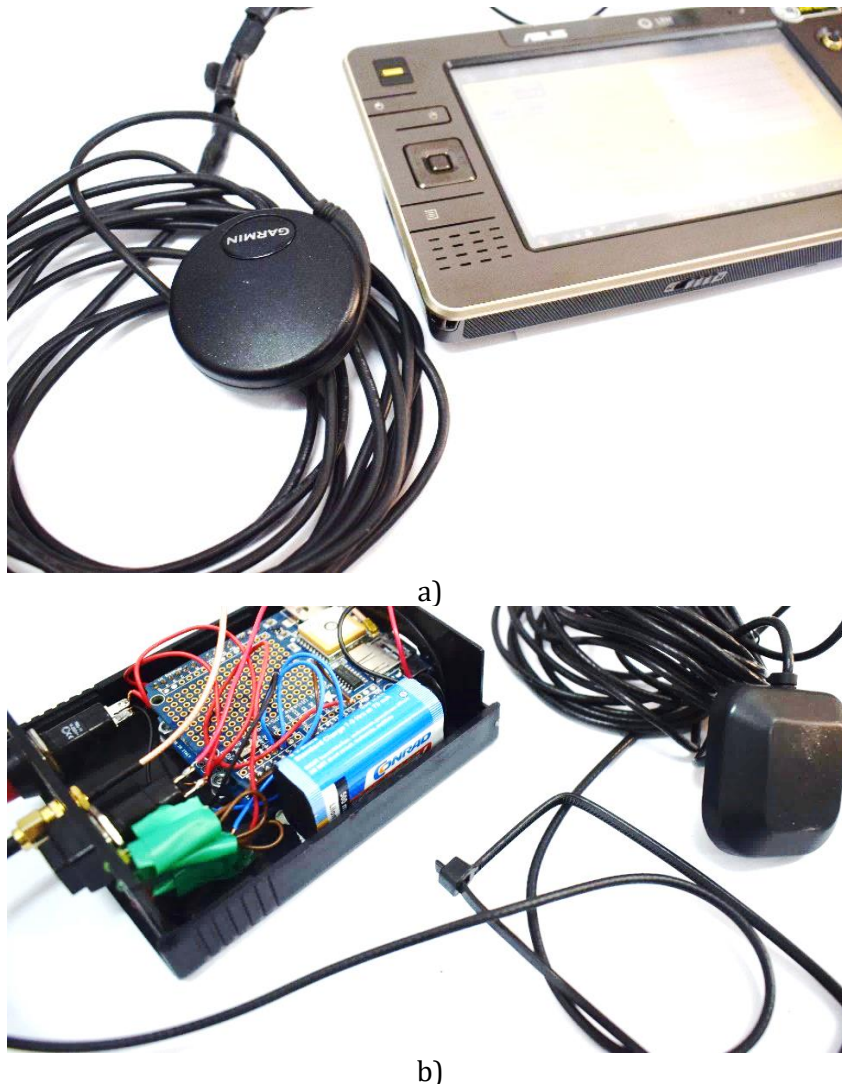


Figura 4.11. Instrumente utilizate în determinarea caracteristicilor dinamice ale manevrelor executate în intersecţiile DF - DN (autorul)

a) Garmin™ 18x – 5Hz şi notebook Asus™ R2E BH050E; b) DL 10

Tools used for measuring the dynamic characteristics of the maneuvers conducted in the DF -DN intersections (author)

a) Garmin 18x – 5Hz; b) DL 10

Garmin GPS 18x este un dispozitiv compact ce încorporează atât blocul receptor, cât şi senzorul (antena) GPS şi poate realiza 5 determinări pe secundă, procesând date de la mai mulţi sateliţi (Garmin International, 2011). Având în vedere performanţele ridicate, acest dispozitiv este utilizat

cu precădere în determinarea precisă a parametrilor de poziționare și viteză pentru utilajele agricole (Covaciu, 2010). GPS 18x mai prezintă și alte avantaje, printre care: memorie internă, ceas propriu și independent de cel al satelitului, impermeabilitate crescută, bază magnetică (necesară la aplicarea pe părțile metalice ale autovehiculelor sau ale utilajelor), poate prelucra semnale de la un număr de 12 sateliți, generează secvențe NMEA, prezintă greutate și dimensiuni reduse (Covaciu, 2010; Garmin International, 2011). Totuși, acest dispozitiv GPS prezintă și dezavantajul că în achiziționarea datelor este necesară utilizarea unui calculator.

Cel de-al doilea instrument utilizat în determinarea unor parametri dinamici, dezvoltați de către un vehicul forestier la parcurgerea unei intersecții DF – DN, este DL 10. Acesta a fost creat, atât hardware cât și software, în proiectul POSDRU/159/1.5/S/137070 (2014), desfășurat în cadrul Universității *Transilvania* din Braşov. În principiu, dispozitivul este amplasat pe o placă de bază de tip Arduino Leonardo™, ce include un microcontroler ATmega32U4. La această placă este conectată o placă de extensie dedicată de tip „GPS Logger Shield”, producător Adafruit™. Unitatea de memorare a datelor prezintă slot pentru card de tip micro SD. Aparatul include o baterie internă, dar alimentarea se poate face și de la o sursă externă (de exemplu: bateria autovehiculului). Antena GPS utilizată este o antenă activă ANT-555 și prezintă suport magnetic, fapt ce facilitează fixarea acesteia pe caroseria autovehiculului martor.

Datele preluate de la instrumentele descrise mai sus sunt caracteristice protocolului NMEA (*eng. National Marine Electronics Associations*), reglementat internațional prin standardul NMEA 0183 (Covaciu, 2010). Ambele aparate raportează datele înregistrate în secvențe NMEA, de tipul GPRMC. Acest tip de cod oferă un minim de date, recomandate în măsurătorile GPS, astfel sunt implicate un număr minim de resurse privind memoria și timpul de stocare (Covaciu, 2010). În continuare se va explicita semnificația valorilor înregistrate în codul GPRMC, adaptare după (Covaciu, 2010):

\$GPRMC,091801.874,A,4535.4608,N,02544.4464,E,020.1,053.6,120316,,,A*6A

\$GPRMC - denumire cod;
 091801.874 - ora, minutul și secunda aferentă înregistrării (09:18:01.87 UTC);
 A - modul de recepționare satelit, A (Activ);
 4535.4608,N - latitudine, 45°35.4608' N
 02544.4464,E - longitudine, 25°44.4464' E
 020.1 - viteza de deplasare, [kt]
 053.6 - direcția de deplasare, 53.60°N
 120316 - data la care s-au efectuat măsurătorile, 12.03.2016
 A - deviația magnetică
 *6A - suma de control

Autovehiculul martor (Figura 4.12) este un convoi cu dimensiuni excepționale, format dintr-un camion marca Scania™, model 164C și remorca, marca D Rema™, model Kraemer.

Amplasarea aparaturii pe ansamblul vehiculului martor s-a efectuat particularizat pentru cele două moduri de rulare: fără sarcină utilă (variantea descărcat) și cu sarcina utilă maximă (variantea încărcat). În continuare, vehiculul martor în varianta descărcat va purta denotațiunea **VMd**, iar vehiculul martor în stare încărcată va fi numit **VMi**. Amplasarea instrumentelor de măsurare a datelor în cadrul ansamblului VMd este ilustrată în Figura 4.12. Antena instrumentului Garmin™ 18x a fost poziționată pe cabina autocamionului, în zona corespunzătoare centrului axei motoare. Unitatea de stocare aferentă, Asus™ BH050E, a fost amplasată în cabină și a fost alimentată la priza electrică din bordul mașinii. De asemenea, alimentarea GPS-ului Garmin™ 18x s-a realizat accesând aceeași sursă electrică.

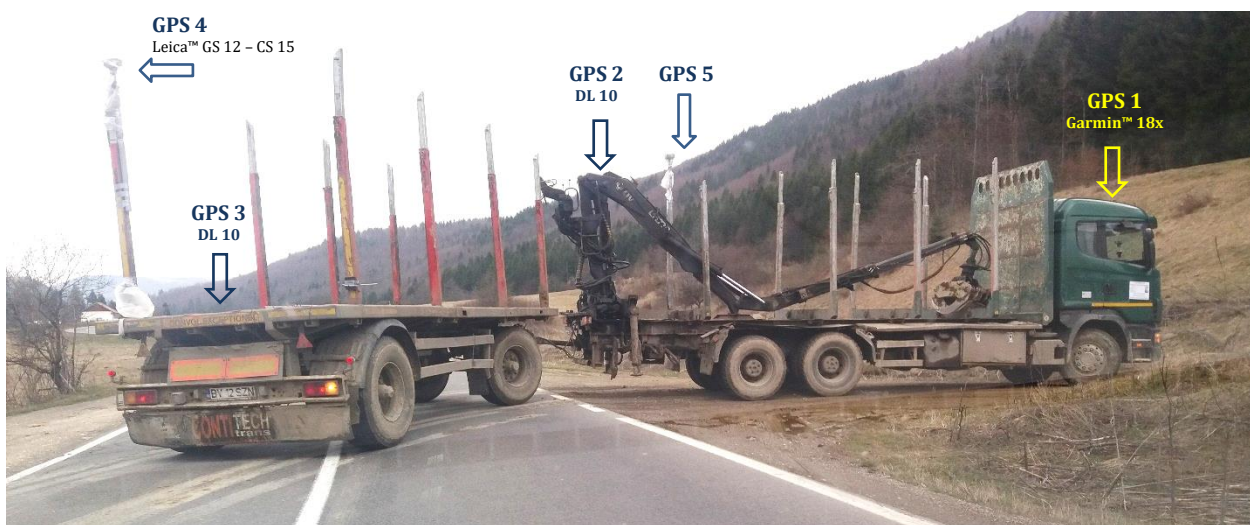


Figura 4.12. Poziționarea aparaturii în cadrul ansamblului VMd (autorul)
Mounting locations for acquisition devices on the VMd assembly

Poziționarea antenei celui de-al doilea instrument (GPS 2 – Figura 4.12), de tip DL 10, s-a efectuat pe corpul metalic fix al macaralei. Acest punct este corespunzător articulației mecanice dintre camion și remorcă (Figura 4.12). Antena celui de-al doilea aparat, DL 10, a fost amplasată în zona din spate a remorcii (în zona ultimei axe), iar unitate de stocare aferentă a fost poziționată pe elementul vertical (racoanță) de sprijinire laterală a sarcinii utile (Figura 4.12).

Instrumentul Leica™ GS 12 – CS 15 a fost poziționat pe ultimul element de susținere laterală (partea stângă) a sarcinii utile, aferent remorcii. De asemenea, instrumentul Stonex™ S9III+ a fost amplasat pe ultima racoanță, pe partea stângă a camionului. Dispozitivul de procesare și achiziție a datelor, Stonex™ S9III+, a fost amplasat în cabina camionului. Ambele instrumente geodezice au fost setate să înregistreze date în regim dinamic cu frecvența de o înregistrare la 5 secunde. Atașarea aparaturii pe ansamblul VMi s-a realizat similar cu cea prezentată în cazul în care vehiculul era descărcat.

Parcursul intersecțiilor DF – DN, de către vehiculul martor VMd, s-a realizat într-un circuit continuu (în buclă), pentru a realiza cele patru manevre de virare corespunzătoare fiecărei intersecții. Modul de parcurs este ilustrat în Figura 4.14 (sus). Anterior testului s-au stabilit

punctele de capăt ale unui circuit complet *început - sfârşit - început*. Aceste zone au fost alese în funcție de posibilitatea de întoarcere a vehiculului martor. Ansamblul VMd a fost condus de doi șoferi, în continuare numiți S1 respectiv S2, și s-a efectuat un număr de 56 de manevre de virare.

Manevrele de virare a ansamblului VMd, executate la accesul sau părăsirea drumului forestier din/în drumul național, sunt cele prezentate în Figura 4.13. În conformitate cu Figura 4.14, pentru o intersecție în care drumul forestier se desprinde la dreapta din drumul național (pe direcția *început - sfârşit*), prima accesare pe drumul forestier se efectuează prin virare la dreapta (ItD – intrare pe DF prin virarea la dreapta). După aceasta, drumul forestier este parcurs până se găsește o zonă ce permite întoarcerea ansamblului VMd. A doua manevră efectuată este părăsirea drumului forestier prin virare la dreapta (IsD). După parcurgerea celorlalte intersecții DF – DN, vehiculul VMd este întors în punctul de sfârşit. Manevra 3 reprezintă accesarea pe drumul forestier prin virare la stânga (ItS). Ultima manevră (4) reprezintă manevra prin care vehiculul martor părăsește drumul forestier prin virare la stânga (IsS).

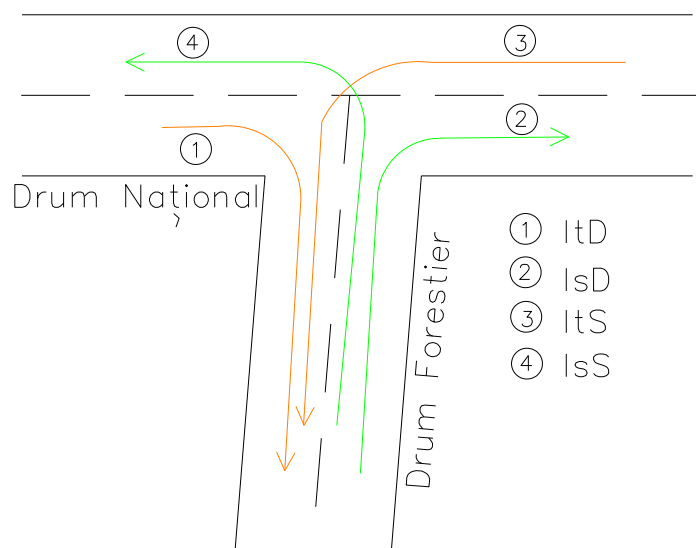


Figura 4.13. Manevrele de virare a VMd în intersecțiile DF -DN (ItD – intrare pe drumul forestier prin virarea la dreapta; IsD – ieşire dreapta; ItS – intrare stânga; IsD – ieşire dreapta) (autorul)

Steering maneuvers of VMd in DF -DN intersections (ItD – right turn to enter on the forest road; IsD – right turn to exit; ItS – left turn to enter; IsD – right turn to exit)

Testele cu vehiculul martor încărcat cu sarcina utilă maximă s-au efectuat prin parcurgerea intersecțiilor D 152 – DN 1A, respectiv D 127 – DN 1A (Figura 4.14, jos). S-au ales aceste două intersecții din următoarele considerente: accesarea sau părăsirea drumului forestier se realizează prin aceleași manevre (IsS respectiv ItD) pentru ambele intersecții, ce prezintă valori ale elementelor geometrice similare atât în plan orizontal, cât și în plan vertical. În schimb, valorile unghiurilor corespunzătoare manevrelor de virare prezintă valori mult diferite (Figura 4.14 (jos)- 47,96° și 101,76°). Ansamblul VMi a fost condus de un număr de trei șoferi și a parcurs un număr total de 12 manevre de virare (Iss, IsD). Având în vedere că primii doi șoferi au condus și vehiculul VMd, aceștia vor fi numiți în continuare S1, S2 respectiv S3.

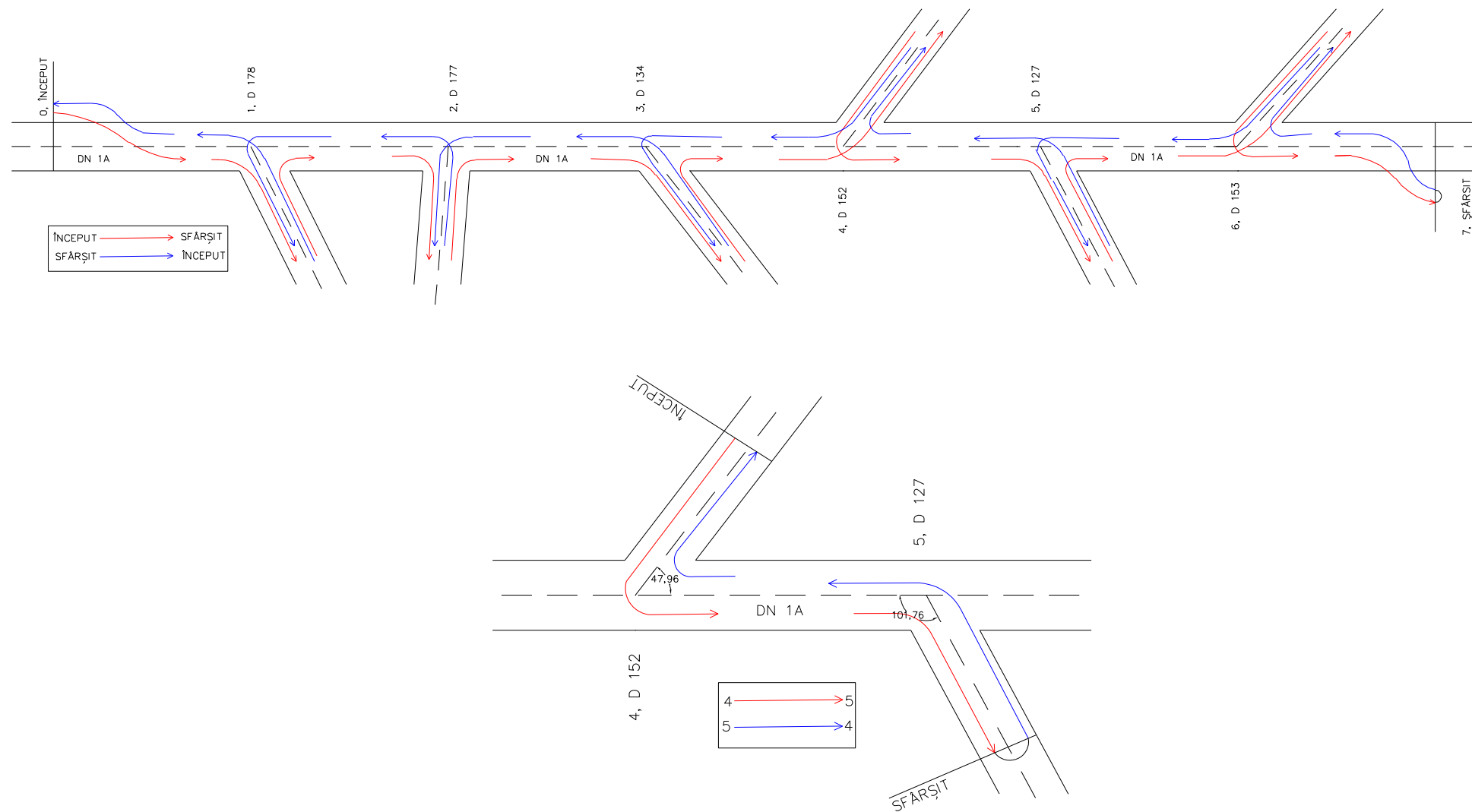


Figura 4.14. Parcurgerea intersecţiilor de către vehiculul martor VMd (sus) şi Vmi (jos) (autorul)
Crossing the intersections by the VMd (top) and Vmi (bottom) vehicles

4.2.2.2. Prelucrarea datelor

A. Descrierea programului software utilizat

Datele înregistrate de către aparatura instalată pe vehiculul martor (VMd sau VMI) au fost descărcate și prelucrate utilizând o serie de funcții create în limbajul AutoLisp™. Aceste funcții au fost realizate în cadrul tezei de doctorat realizată de Covaciu, 2010. Funcționalitatea acestor aplicații a fost integrată într-o platformă aferentă software-ului AutoCAD™. Aplicabilitatea practică a acestora este generoasă și cuprinde o serie de funcții privind atât descărcarea și citirea datelor, cât și interpretarea statistică a rezultatelor obținute. Interfața grafică a funcțiilor utilizate este ilustrată în Figura 4.15. Primul set de pictograme („Load GPS Tool”, „Load Track”, „Draw Track” și „Read Entity Data”) realizează apelarea funcțiilor de încărcare a datelor, respectiv de reprezentare a acestora. Datele încărcate reprezintă informații de tip *metadata* și conțin o serie de caracteristici specifice dinamicității ansamblului vehiculului martor dezvoltate la parcurgerea traseelor. Acestea conțin date despre coordonatele geografice ale punctului înregistrat, timpul (conform ceasurilor atomice aferente sateliților), viteza instantanee, accelerația longitudinală și alte date de identificare ale punctelor și ale traseului respectiv (Covaciu, 2010). Următorul set de pictograme („Speed/Time”, „Accel.”, etc.) reprezintă funcțiile prin care sunt reprezentate anumite valori înregistrate (precum viteza de deplasare a VMd sau a VMI) în funcție de durata de parcurgere și lungimea traseului.

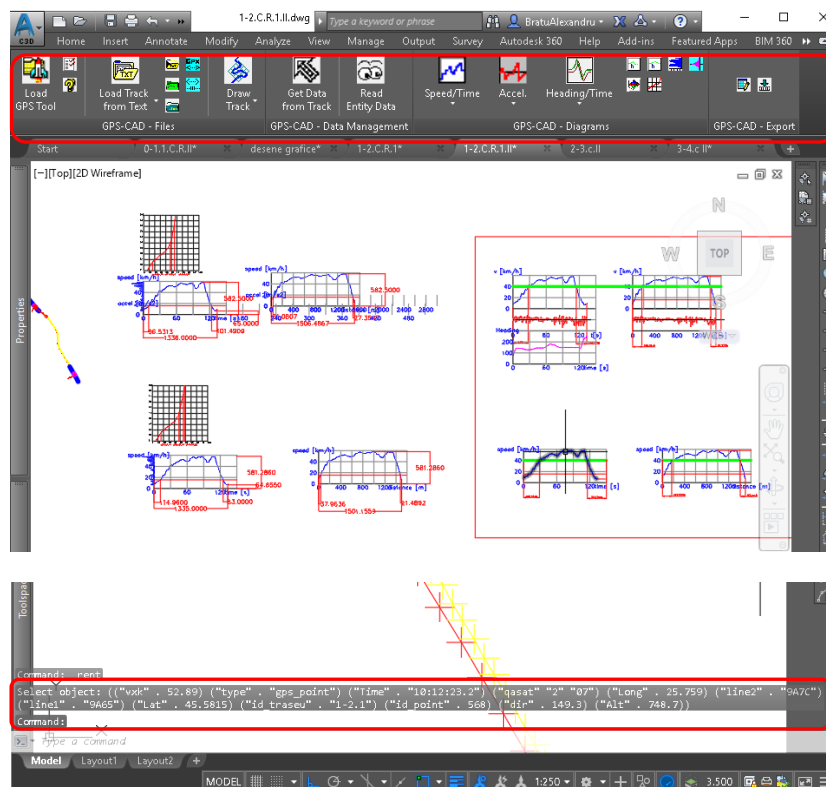


Figura 4.15. Interfața grafică a aplicațiilor utilizate în prelucrarea datelor (sus – setul de butoane software; jos – date aferente punctelor înregistrate) (AutoCAD™)

Graphic interface of the applications used for data processing (top – group of soft keys; bottom – data related to the points recorded) (AutoCAD™)

B. Determinarea vitezei v_{15}^{DN} pentru drumul național

Viteza v_{50} (viteza mediană – eng. *50th percentile speed*) este viteza atinsă de 50% dintre vehiculele participante la trafic (Covaciu, 2010). În cazul utilizării metodei vehiculului martor, viteza v_{50} reprezintă viteza obținută (sau depășită) în 50% din înregistrările efectuate în teren (Bratu și Covaciu, 2017). Similar, viteza v_{15} (eng. *15th percentile speed*) reprezintă viteza sub care se încadrează 15% din totalul vitezelor înregistrate, iar v_{85} (eng. *85th percentile speed*) reprezintă viteza sub care se încadrează 85% din totalul determinărilor efectuate. V_{15} și v_{85} sunt parametrii cei mai utilizați în ingineria traficului, mai ales în luarea unor decizii privind creșterea siguranței rutiere (Hou *et al*, 2012). Viteza v_{15} este un reper important în evaluarea parametrilor ce privesc siguranța traficului rutier. Literatura de specialitate consideră că orice vehicul care circulă sub această viteză devine un factor care incomodează (jeneză) fluiditatea traficului (Hobbs, 1979; Florea, 2000; Roess, 2011; Bratu și Covaciu, 2017). În funcție de tipul vehiculului, această incomodare poate provoca aglomerări („cozi” în trafic), blocaje sau chiar accidente rutiere. Viteza V_{85} este un criteriu important în dimensionarea elementelor geometrice ale unui drum (Abbas *et al*, 2011). De regulă, specialiștii recomandă ca viteza maximă legală pe drumul respectiv să fie valoarea v_{85} (Hobbs, 1979; Covaciu, 2010).

Determinarea vitezei v_{15} , corespunzătoare traficului rutier microscopic desfășurat în lungul drumului național DN1A (afereant zonei de amplasament a intersecțiilor DF -DN luate în considerare în acest studiu), denumită în continuare v_{15}^{DN} , s-a obținut prin metoda grafică (Figura 4.16). Astfel, s-a utilizat distribuția frecvențelor cumulative aferente vitezelor instantanee, determinate în teren prin metoda vehiculului martor (Florea *et. al*, 2013; Bratu și Covaciu, 2017). Pentru a determina curba ce definește distribuția frecvențelor cumulative ale vitezelor unor intervale fixe de timp, s-au utilizat următoarele formule (Bratu și Covaciu, 2017):

$$\bar{v} = \frac{\sum_i f_i v_i}{N}, \quad (4.1)$$

unde:

\bar{v} – reprezintă viteza medie [km/h];

f_i – frecvența determinărilor efectuate în grupul de viteze i ;

v_i – viteza medie a grupului de viteze i .

$$s = \sqrt{\frac{\sum (v_i - \bar{v})^2}{N-1}}, \quad (4.2)$$

unde:

s – este deviația standard;

v_i – viteza medie a grupului de viteze i ;

\bar{v} – viteza medie [km/h];

N – numărul observațiilor.

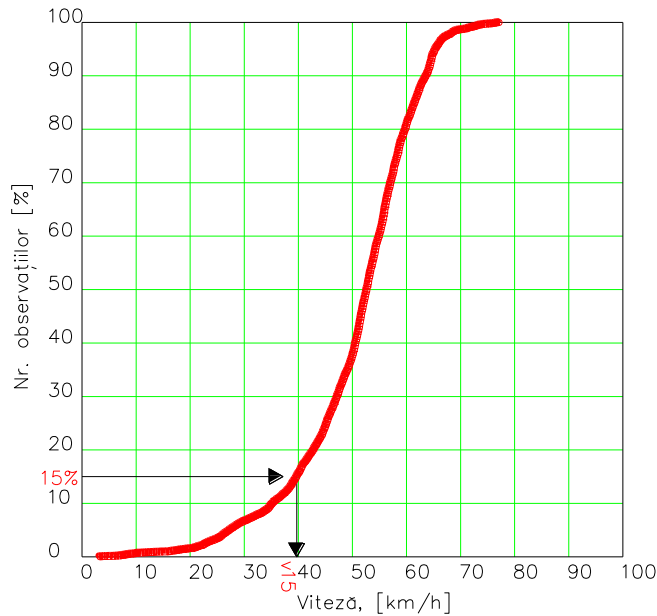


Figura 4.16. Determinarea vitezei v_{15}^{DN} prin metoda grafică (AutoCAD™)
Ascertaining the v_{15}^{DN} speed using the diagram (AutoCAD™)

C. Determinarea valorilor T_{v15} și D_{v15}

Valorile T_{v15} , aferente curselor efectuate de către VMd respectiv VMi, se împart în două categorii și anume: valori T_{v15} pentru manevrele de ieșire de pe drumul forestier (T_{v15}^{ls}), respectiv pentru manevrele de intrare pe drumul forestier (T_{v15}^{lt}). Valoarea T_{v15}^{ls} reprezintă durata realizată între un timp inițial, aferent momentului în care partea frontală a camionului accede în zona părții carosabile a drumului național, și un timp final, corespunzător momentului la care vehiculul martor atinge viteza v_{15}^{DN} . Durata T_{v15}^{lt} reprezintă durata cuprinsă între un timp inițial, corespunzător momentului la care vehiculul martor (aflat în decelerare) atinge v_{15}^{DN} , și un timp final, la care spatele remorcii a ieșit din zona părții carosabile a drumului național.

Distanțele D_{v15} , în funcție de tipul manevrelor efectuate, se divizează în două categorii: valori D_{v15}^{ls} , pentru manevrele de ieșire din drumul forestier, respectiv valori D_{v15}^{lt} , aferente manevrelor de intrare din drumul național în drumul forestier. De asemenea, valorile D_{v15} reprezintă distanțele parcurse de către vehiculul martor în intervalele de timp T_{v15} . A nu se confunda distanța D_{v15} cu lungimea drumului național dintre punctul la care s-a atins v_{15}^{DN} și centrul intersecției DF - DN.

Determinarea valorilor T_{v15} , respectiv D_{v15} s-a realizat prin metoda grafică prezentată în Figura 4.17. După determinarea prealabilă a vitezei v_{15}^{DN} , s-au determinat statistic variațiile vitezelor

instantanee în funcție de timpul (T_c) și lungimea (L_c), aferente fiecărei curse efectuate între două intersecții consecutive. În graficele obținute s-a dus o dreaptă prin punctul ce reprezintă v_{15}^{DN} paralelă cu axa orizontală. Punctele în care această dreaptă intersectează graficul vitezelor reprezintă valorile $T_{v_{15}^{Is}}$ și $T_{v_{15}^{It}}$ respectiv $D_{v_{15}^{Is}}$ și $D_{v_{15}^{It}}$.

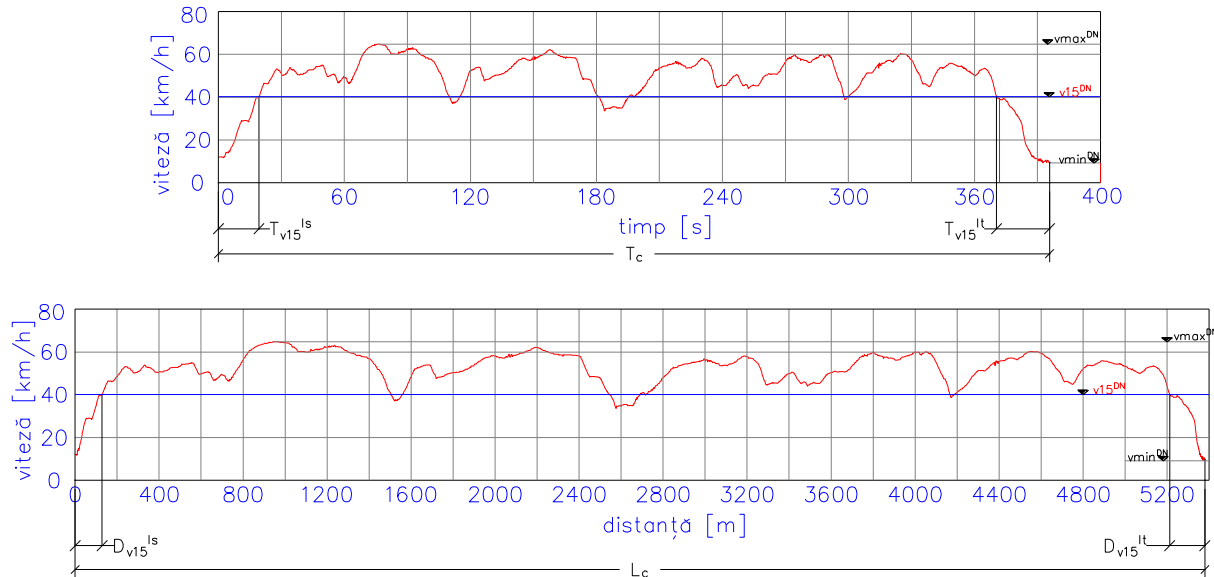


Figura 4.17 Determinarea valorilor $T_{v_{15}}$ respectiv $D_{v_{15}}$ prin metoda grafică (AutoCAD™)
Ascertaining the $T_{v_{15}}$ and $D_{v_{15}}$ values using the diagrams (AutoCAD™)

4.2.2.3. Analiza datelor

Valorile $T_{v_{15}}$, respectiv $D_{v_{15}}$ s-au determinat atât pentru cazul în care ansamblul vehiculului martor este descărcat, cât și pentru cazul când acesta prezintă sarcina utilă maximă. Având în vedere că valorile înregistrate de GPS 1, GPS 2 respectiv GPS 3 sunt relativ similare, s-a optat pentru determinarea valorilor $T_{v_{15}}$ și $D_{v_{15}}$ ca medie aritmetică a valorilor înregistrate de instrumentele amplasate atât pe cabina camionului, cât și în zona din spate a remorcii. Rezultatele determinărilor au fost prezentate atât sub formă tabelară, cât și sub formă grafică. Reprezentările grafice au fost realizate particularizat pentru fiecare tip de manevră (IsS, IsD, ItD și ItS). În ultima parte a analizei s-a efectuat un studiu prin care se pune în evidență variația valorilor $T_{v_{15}}$ și $D_{v_{15}}$ în funcție de unghiul intersecției. Astfel, s-au analizat timpii și distanțele de la care/până la care s-a atins V_{15}^{DN} pentru același tip de manevră (IsS) în intersecțiile D127 – DN1A, respectiv D152 – DN1A. Manevrelor au fost executate atât de către VMdS1 și VMdS2, cât și de VMiS1, VMiS2 și VMiS3. Ambele intersecții prezintă, în general, caracteristici geometrice relativ similare cu excepția unghiului de intersectare. Având în vedere cele menționate, s-a determinat în ce măsură variația unghiului intersecției determină variația valorilor $T_{v_{15}}$ respectiv $D_{v_{15}}$. Desigur, rezultatele obținute sunt specifice cazului studiat, iar pentru generalizarea fenomenului se impune realizarea unui studiu în care sunt implicate un număr mai mare de determinări.

4.3. Rezultate și discuții

4.3.1. Rezultate privind determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor DF – DN

Valorile unghiurilor de racordare a intersecțiilor DF – DN variază între $21,70^\circ$ și $89,53^\circ$ și sunt reprezentate printr-o medie aritmetică în valoare de $64,95^\circ$ (Figura 4.18). Dintre intersecțiile DF – DN din județul Braşov, 48,78% prezintă valori ale unghiului de racordare sub valoarea mediei aritmetice. Intersecțiile aferente drumului național DN 10 prezintă o medie în valoare de $52,16^\circ$, iar cele străbătute de DN 13 prezintă o valoare medie de $65,00^\circ$. De asemenea, intersecțiile aferente drumurilor naționale DN 73A, DN 1 și DN 1A prezintă următoarele valori medii ale unghiurilor de intersecție: $67,59^\circ$, $72,12^\circ$ și $57,50^\circ$. Există două intersecții la care valoarea unghiului este sub $30,00^\circ$, și anume: DN 13 – D 880 prezintă valoarea de $29,60^\circ$ și DN 1A – D 155 cu valoarea de $21,70^\circ$. De asemenea, 15 din cele 42 de intersecții studiate dețin valori ale unghiului de intersecție peste $60,00^\circ$.

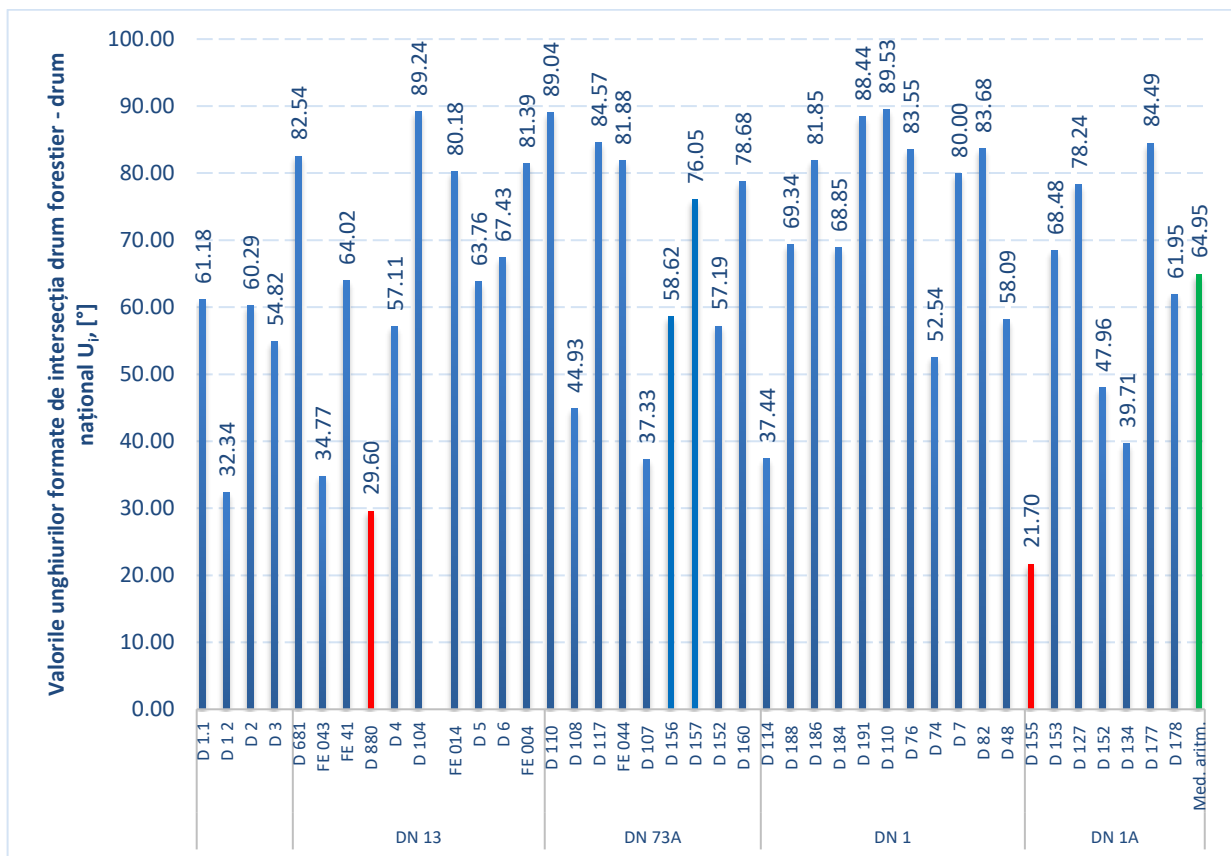


Figura 4.18. Valorile unghiurilor de racordare în intersecțiile DF – DN din județul Braşov
Angle values obtained between the road axes, in the DF – DN intersections form Braşov county

Valorile l_{FI} (lățimile drumurilor forestiere în intersecție) sunt prezentate în Figura 4.19. Astfel, se observă că valorile l_{FI} variază de la o valoare minimă de 4,60 m (pentru intersecția DN 73A – D 160) la o valoare maximă de 37,65 m (intersecția DN 1A – D 178). Valoarea medie l_{FI} pentru intersecțiile DF – DN din județul Braşov este de 14,56 m. De asemenea, valorile medii aferente intersecțiilor

pentru fiecare drum național sunt: DN 10 – 27,97 m, DN 13 – 10,70 m, DN 73A – 12,97 m, DN 1 – 11,35 m, respectiv DN 1A – 19,52 m.

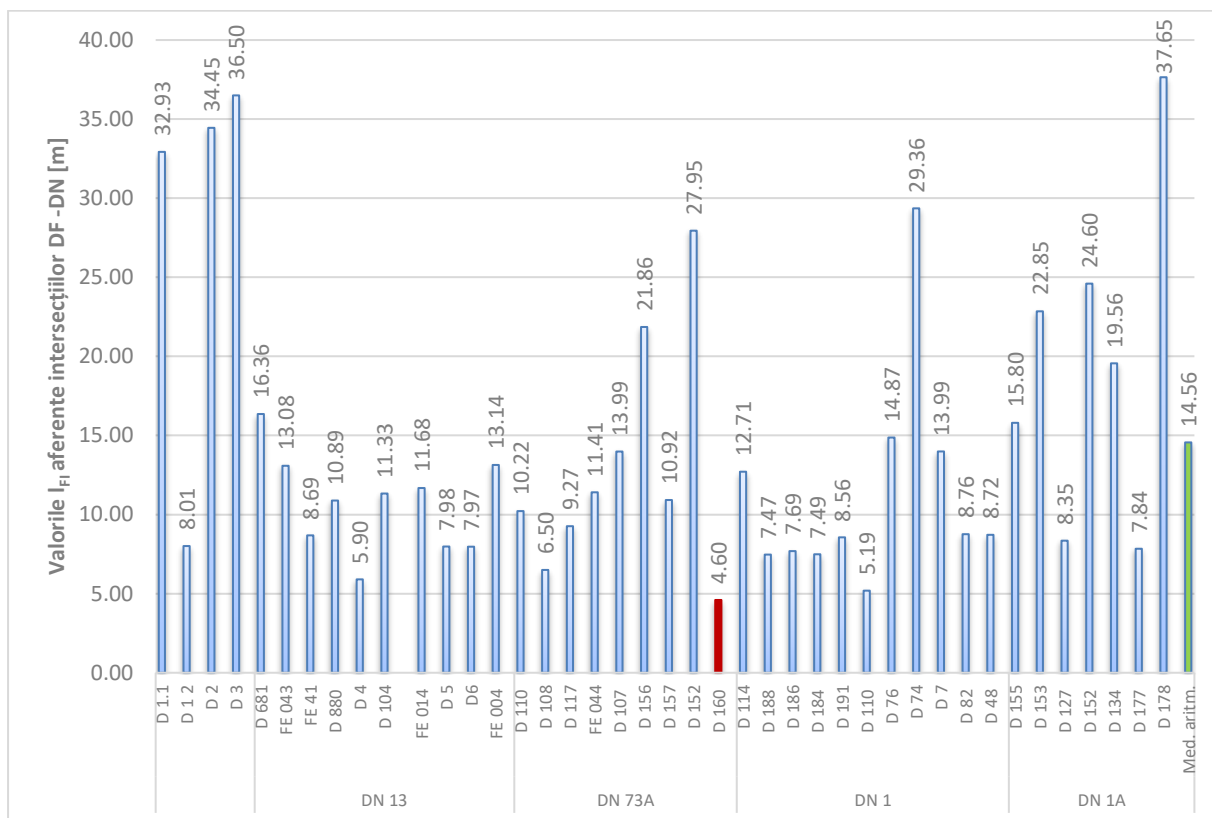


Figura 4.19. Valorile L_{FI} aferente intersecțiilor DF - DN din județul Braşov
 L_{FI} values obtained for the DF - DN intersections from Braşov county

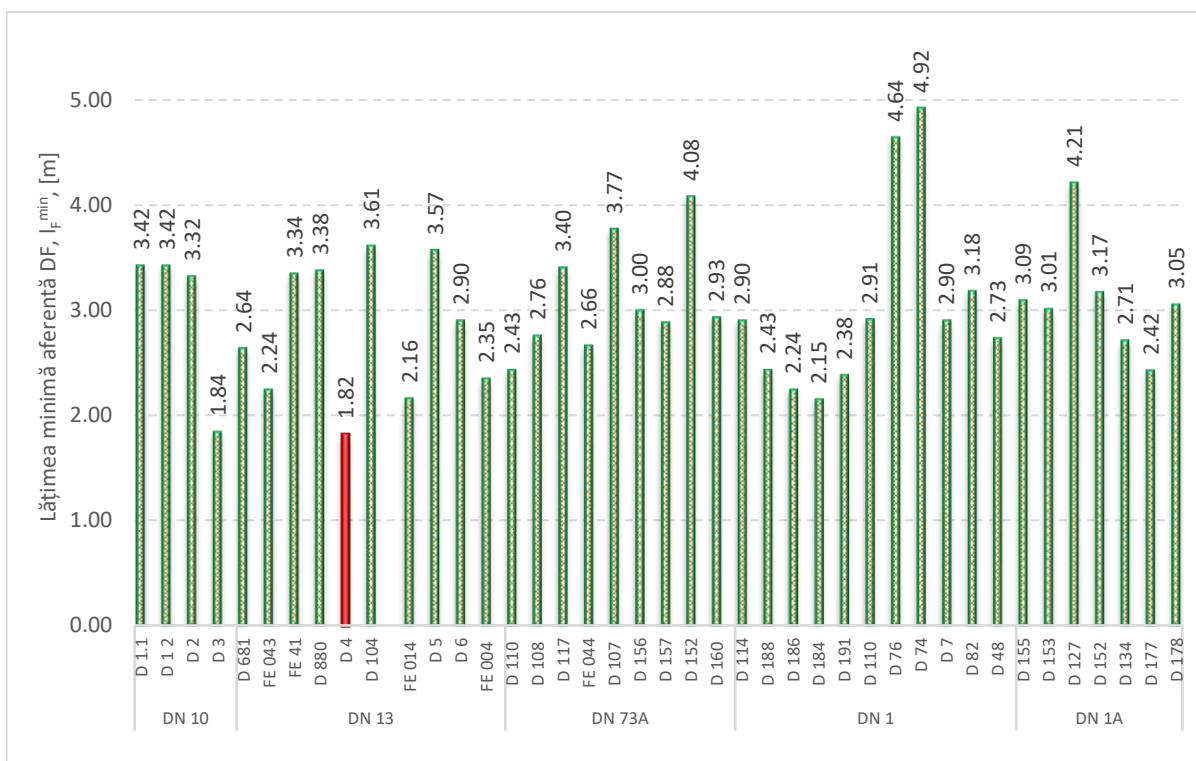


Figura 4.20. Rezultate privind lăţimea minimă aferentă drumurilor forestiere (L_{F}^{min}) pentru intersecțiile studiate
Minimum widths (L_{F}^{min}) of the forest roads in the studied intersections

Valorile privind lăţimea minimă a drumurilor forestiere sunt prezentate în Figura 4.20. Se observă că aceste valori variază de la o valoare minimă de 1,82 m pentru drumul forestier D 4 la o valoare maximă de 4,92 m pentru drumul D 74. Prin cercetarea elementelor geometrice ale intersecţiilor DF - DN s-au măsurat o serie de trasee ale drumurilor forestiere, totalizând o lungime de 4537,73 m. Aşadar, valorile lăţimilor minime specifice drumurilor forestiere se pot considera că sunt reprezentative pentru această lungime măsurată.

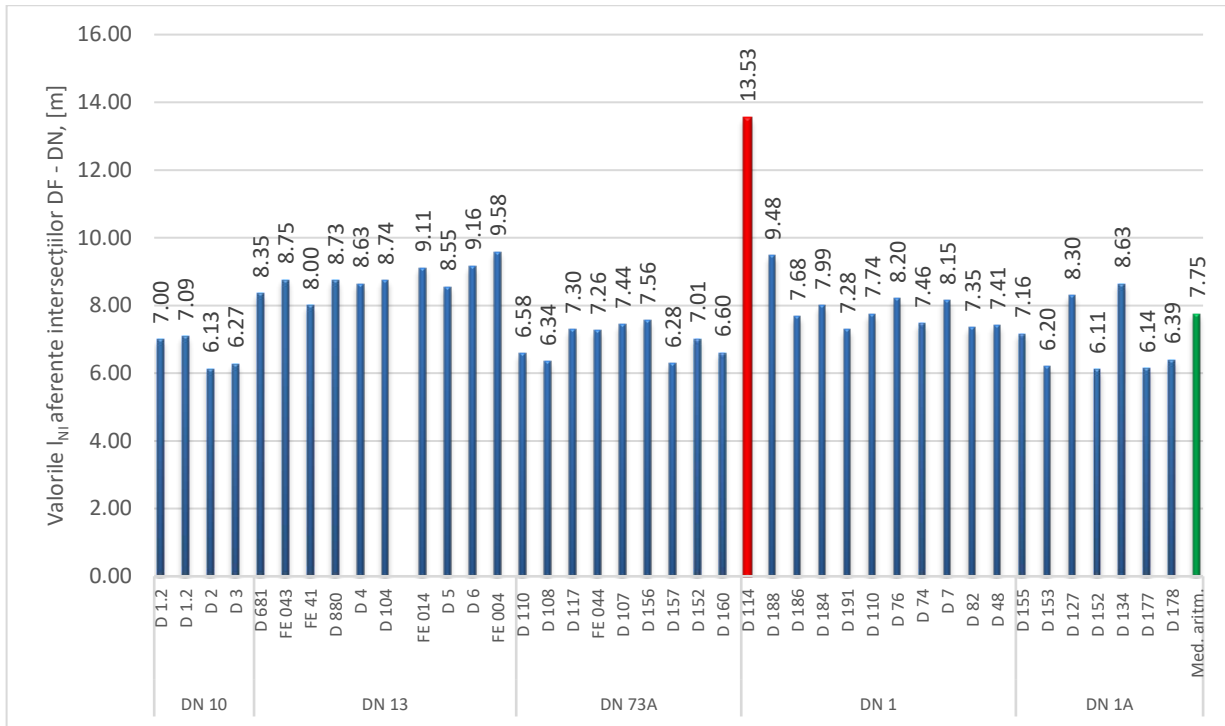


Figura 4.21. Rezultate privind lăţimea minimă aferentă drumurilor naţionale (l_{NI}) în intersecţiile studiate
Minimum widths of the national roads (l_{NI}) in the studied intersections

Rezultatele privind valorile l_{NI} sunt redate în Figura 4.21 și reprezintă valorile lăţimilor în dreptul punctului de intersecţie pentru drumul naţional. Spre deosebire de valorile L_{FI} , lăţimile aferente drumurilor naţionale prezintă un interval de variaţie mai redus. Astfel, valoarea minimă aparţine intersecţiei drumului DN 1A cu D 152 (Figura 4.22, a), iar valoarea maximă corespunde drumului naţional DN 1, la intersecţia cu D 114 (Figura 4.22, b). Valoarea medie a tuturor lăţimilor drumurilor naţionale aferente zonei de joncţiune DF - DN este de 7,75 m.

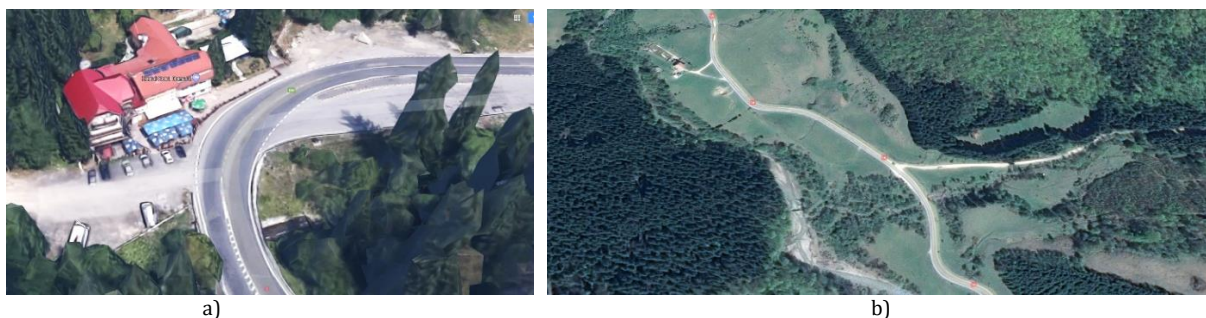


Figura 4.22. Intersecţiile D 114 - DN 1 (a) și D 152 - DN 1A (b) (vedere de sus) (Google™, AutoCAD™)
D 114 - DN 1 (a) and D 152 - DN 1A (b) intersections (aerial view) (Google™, AutoCAD™)

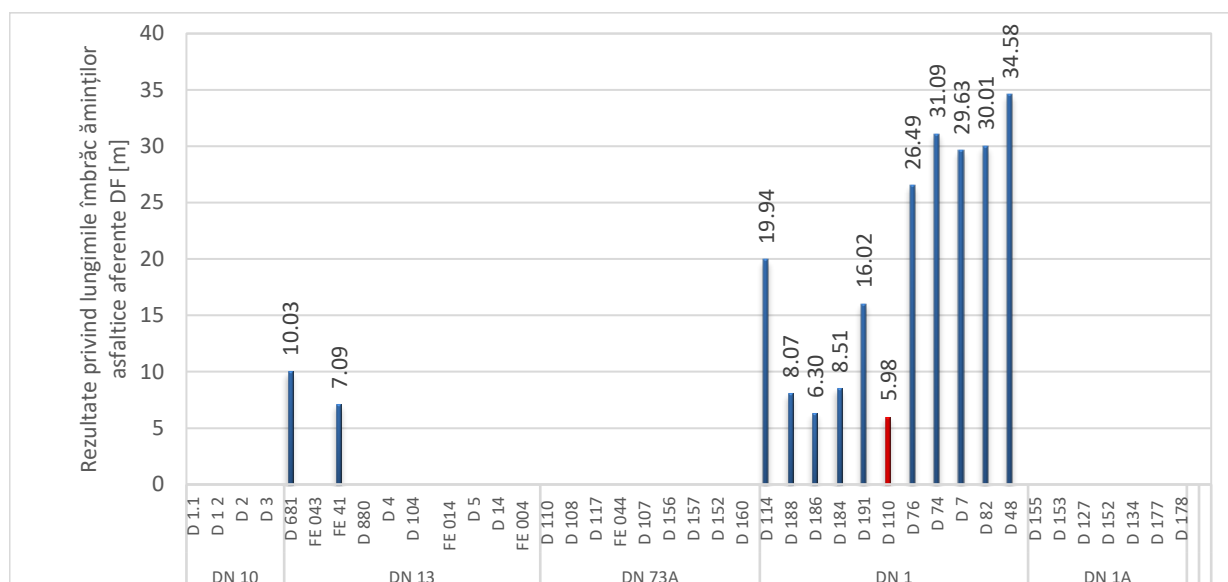


Figura 4.23. Rezultate privind lungimile îmbrăcăminţilor asfaltice aferente drumurilor forestiere în intersecţiile DF - DN studiate

Length of the asphalt paved part of the forest road of analyzed DF - DN intersections

Analizând Figurile 4.23 și 4.24, se constată faptul că dintre intersecțiile studiate, numărul drumurilor forestiere ce prezintă îmbrăcămintă asfaltică similară cu cea a drumului național intersectat este în proporție de 32,00%. Lungimile pe care s-a realizat și racordarea structurală variază de la o valoare minimă de 5,98 m, pentru intersecția DN 1 - D 110, la o valoare maximă de 34,58 m, aferentă intersecției DN 1 -D 48. Valoarea medie a lungimilor ce prezintă îmbrăcămintă asfaltică este de 17,98 m.

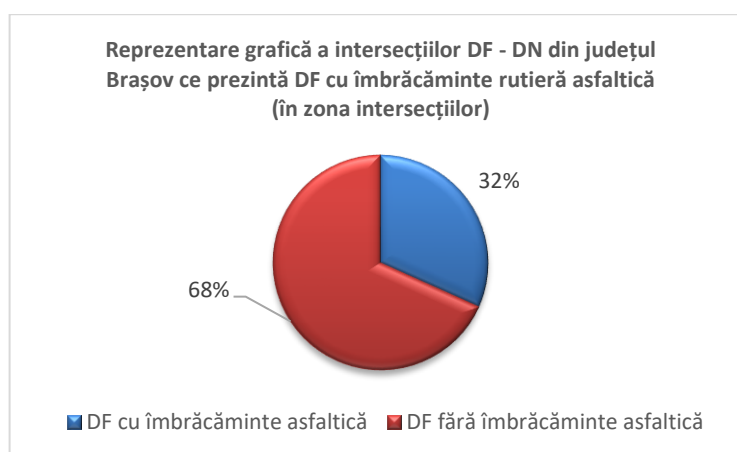


Figura 4.24. Reprezentare grafică a intersecțiilor DF - DN la care drumul forestier prezintă pe o anumită lungime îmbrăcămintă asfaltică similară cu cea a drumului național intersectat

Pie chart of DF - DN intersections, where the forest road is partially paved similar to the intersected highway

În ceea ce privește analiza elementelor geometrice în planul vertical, unul dintre cele mai importante criterii este reprezentat de valoarea declivităților longitudinale ale primului pas de proiectare a drumului forestier. Aceste valori pot fi urmărite în Figura 4.25. Valorile declivităților longitudinale sunt pozitive, acestea reprezentând declivitățile în rampă și negative, pentru pasul de proiectare în pantă. Valoarea maximă a declivităților în rampă este de 10,40% și este reprezentată de intersecția

realizată de drumul forestier D 4 cu drumul național DN 13, iar valoarea minimă este de 0,20% și este reprezentată de intersecția DN 1 A.- D 178. Valoarea minimă a declivităților longitudinale în pantă aferente pasului de proiectare a drumului forestier din zona rostului joncțional este de -9,30% și este reprezentată de intersecția DN 1 -D 186, iar valoarea maximă este de 0,20%. De regulă, se recomandă ca valoarea declivității aferente primului pas de proiectare să fie redusă și apropiată de valoarea declivității transversale a drumului național intersectat (sau a benzii aferente). Respectarea acestei condiții este esențială în reducerea rezistenței la rulare dezvoltate atunci când un camion forestier prezintă încărcare utilă maximă și realizează manevre de încadrare pe drumul național. În cazul în care un drum forestier existent prezintă o declivitate mare (în plin), în zona rostului joncțional, se recomandă execuția unui strat de uzură similar cu cel al drumului național. Prin aceste lucrări se realizează creșterea coeficientului de frecare, dezvoltat la contactul pneu – carosabil, și astfel, se reduce timpul manevrei de încadrare a vehiculului forestier pe drumul național. Un alt aspect care s-a constatat este acela că, de-a lungul rostului joncțional figurează pozarea unui podeț sau a unei rigole casetate doar la 19% din intersecțiile studiate. Utilitatea acestor elemente de construcție este vitală, deoarece s-a constatat că în cazul drumurilor forestiere care nu prezintă aceste elemente, acțiunea de erodare a apelor meteorice influențează considerabil linia roșie a traseului și afectează structura rutieră a drumului național.

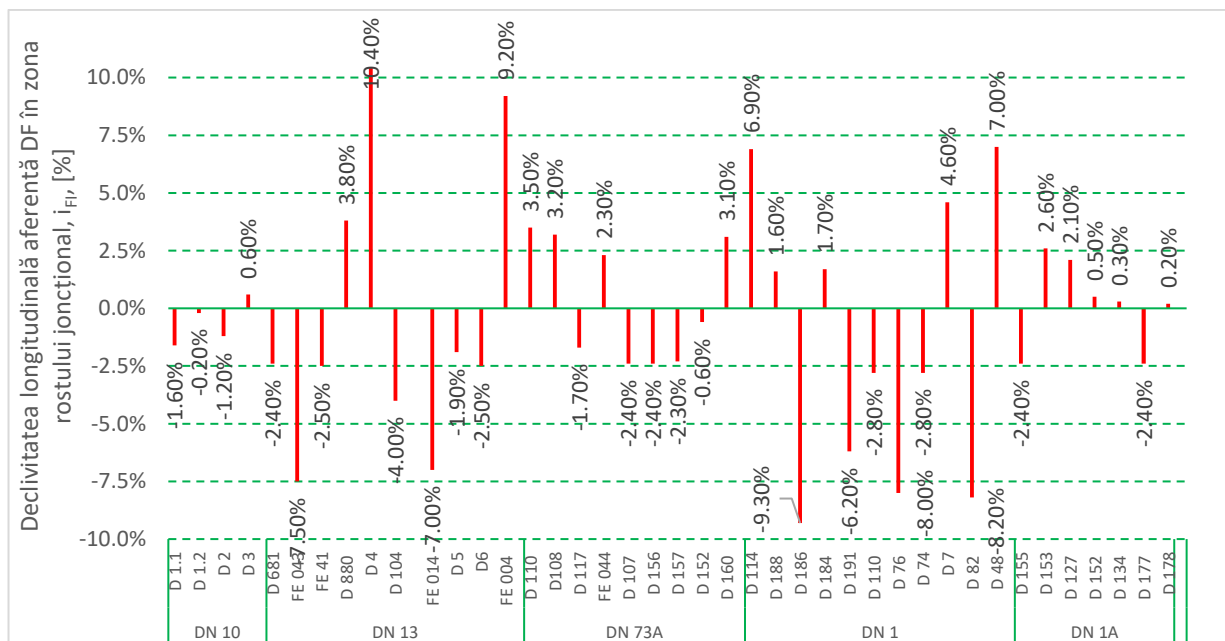


Figura 4.25. Rezultate privind valorile i_{F1} aferente drumurilor forestiere
i_F values for the forest roads

În Figura 4.26 sunt prezentate valorile mediilor ponderate ale declivităților longitudinale pentru drumurile forestiere. În această reprezentare s-a considerat că declivitățile longitudinale prezintă valori pozitive. După cum se observă, spre deosebire de drumurile publice, drumurile forestiere prezintă valori medii ponderate mai ridicate ale declivităților longitudinale. În acest sens, declivitatea maximă obținută pentru drumurile forestiere este de 10,40% și caracterizează drumul D4. În cazul drumurilor naționale, declivitatea maximă este de 7,90%.

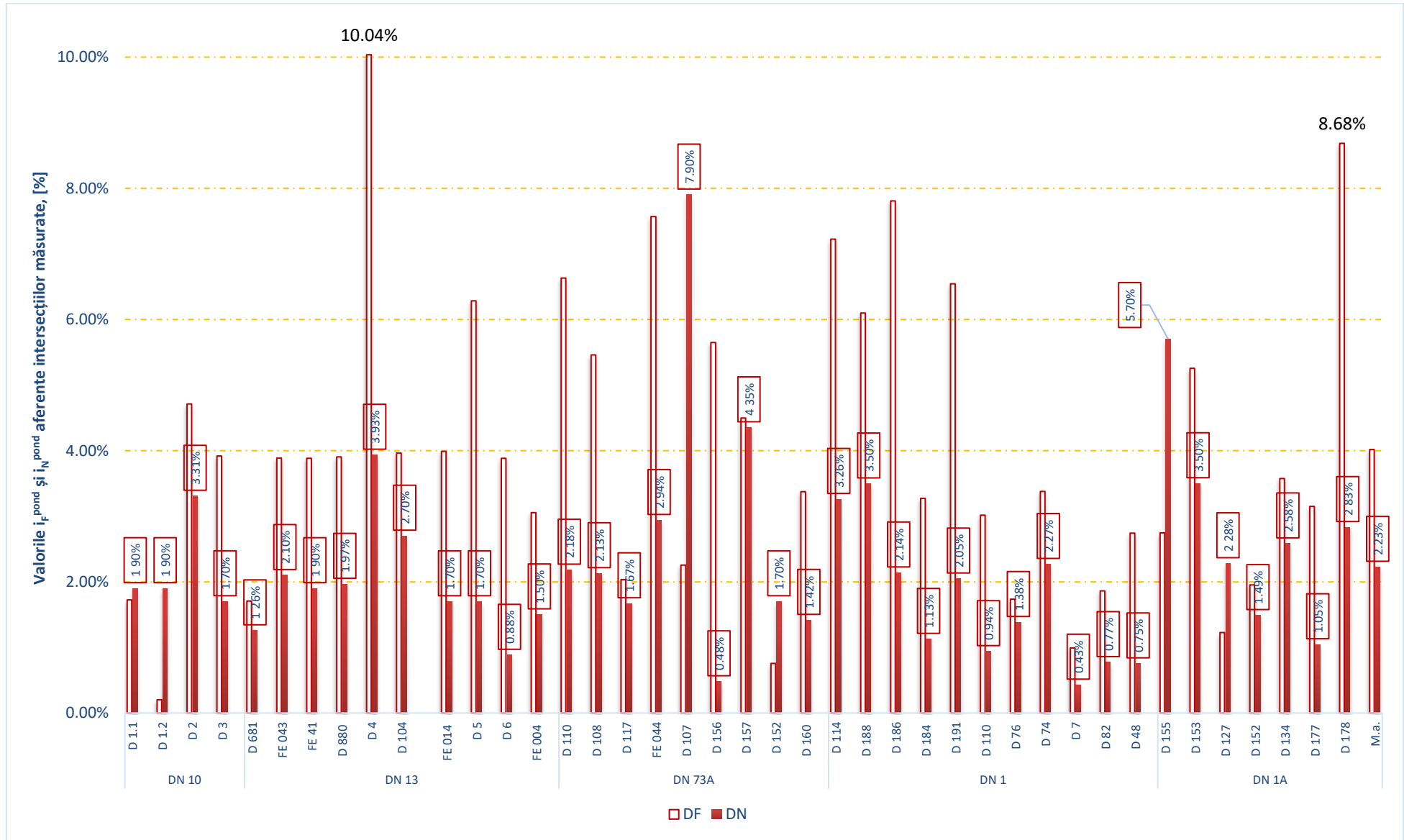


Figura 4.26. Rezultate privind valorile i_{r}^{pod} și i_{N}^{pod} aferente segmentelor de drum DF și DN
 i_{r}^{pod} and i_{N}^{pod} values corresponding to the DF and DN road segments

4.3.2. Rezultate privind evaluarea modului în care traficul auto forestier influențează traficul rutier desfășurat pe drumul național în zona intersecțiilor DF - DN

4.3.2.1. Rezultate privind determinarea valorilor v_{15}^{DN} pentru traficul desfășurat pe drumul național în zona intersecțiilor studiate

Variațiile vitezelor de deplasare ale vehiculului VMd, condus de șoferii S1 respectiv S2 pe drumul național DN 1A, în zona intersecțiilor studiate (dus-întors), sunt reprezentate, în funcție de timp, în Figura 4.27. În primul grafic se observă variațiile vitezelor vehiculului VMd, condus de șoferul S1 (în continuare purtând denumirea de VMdS1). Similar, în cel de-al doilea grafic sunt ilustrate variațiile vitezelor de deplasare aferente parcurgerii segmentului de drum național de către ansamblul VMd, condus de șoferul S2 (în continuare purtând denumirea de ansamblul VMdS2). În cel de-al treilea grafic sunt prezentate vitezele cumulate și înregistrate în primele două grafice, aferente cazurilor VMdS1, respectiv VMdS2 (în continuare purtând denumirea de viteze aferente VMdS1S2).

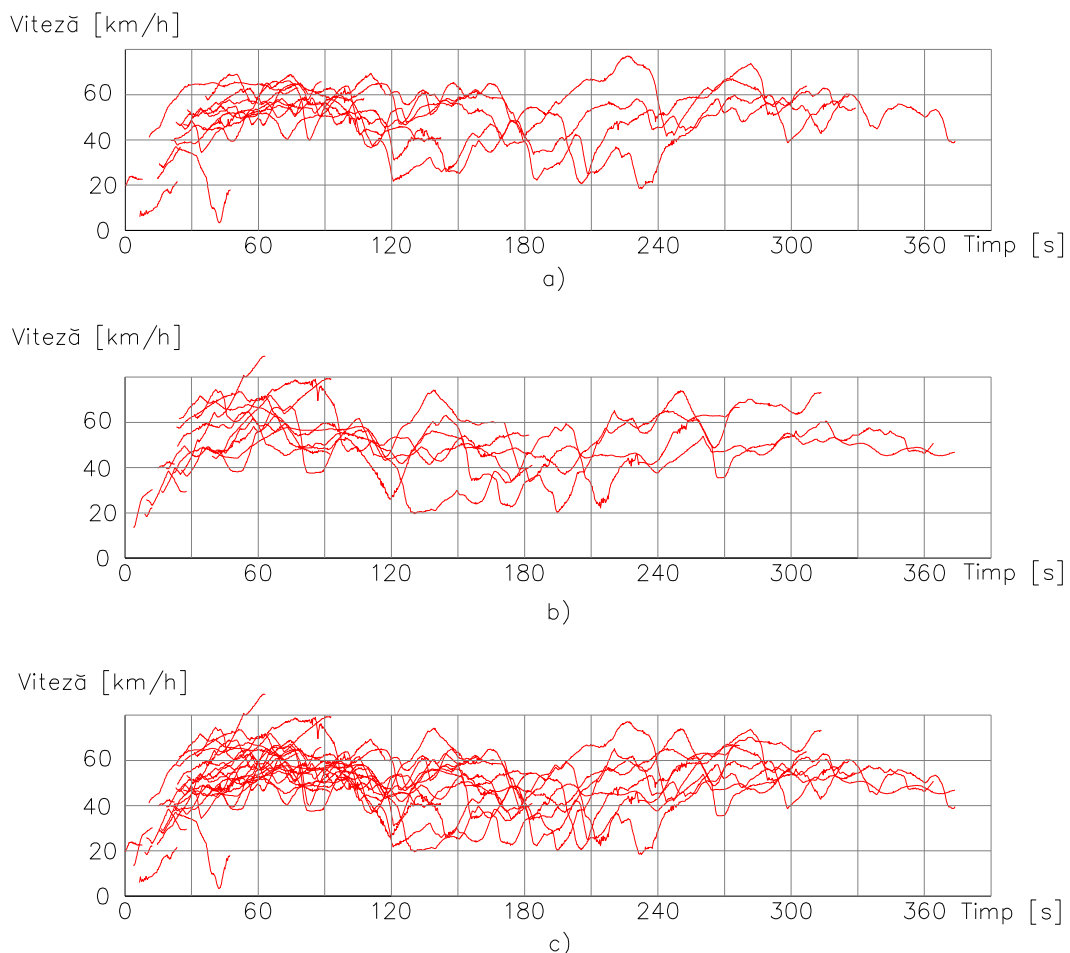


Figura 4.27. Rezultate privind variația vitezei în funcție de timpul aferent parcurgerii drumului național
a) variațiile vitezelor pentru cursele parcurse de șoferul S1 (VMdS1); b) variațiile vitezelor pentru cursele parcurse de VMdS2;

c) variațiile vitezelor aferente VMdS1S2

Speed variation as function of time for highway travel

a) speed variation for travel with driver S1 (VMdS1); b) speed variation for VMdS2;

c) speed variation for VMdS1S2

Variațiile vitezelor cumulate corespunzătoare parcurgerii segmentului de drum național, în zona intersecțiilor studiate, au fost extrase din graficele de variație a vitezelor ce corespund celor 56 de curse efectuate în zonele de joncțiune DF – DN. După cum se observă în Figura 4.27, variațiile vitezelor, în cazurile VMdS1 și VMdS2, prezintă forme relativ similare atât ca durată, cât și ca valori măsurate. Graficul cumulativ, aferent VMdS1S2, arată că valorile vitezelor măsurate prezintă o suprapunere evidentă pe durata 0 – 120 s. De asemenea, se observă că pe durata 0 - 60 s s-au înregistrat atât valori minime ale vitezelor de deplasare (sub 20 km/h), cât și valori maxime (peste 80 km/h). Frecvențele de măsurare a vitezelor sunt prezentate în Figura 4.28.

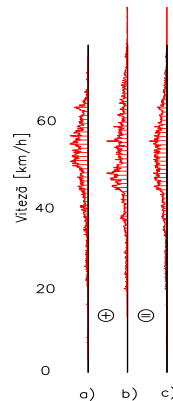


Figura 4.28. Rezultate privind frecvența vitezelor măsurate
a) pentru VMdS1; b) VMdS2; c) VMdS1S2

Frequency of measured speeds

a) VMdS1; b) VMdS2; c) VMdS1S2

Având în vedere graficele frecvențelor prezentate în Figura 4.28, s-au determinat vitezele v_{15}^{DN} , v_{50}^{DN} și v_{85}^{DN} , dezvoltate la parcurgerea segmentului de drum național ce tranzitează intersecțiile studiate. Curbele frecvențelor cumulate ale vitezelor instantanee pentru cazurile VMdS1, VMdS2 și VMdS1S2 sunt prezentate în Figura 4.29. Analizând graficul aferent VMdS1 (Figura 4.29, a), se constată că v_{15} este în valoare de 39,71 km/h. Viteza medie v_{50}^{DN} este 52,66 km/h, iar viteza recomandată, v_{85}^{DN} , este de 61,55 km/h. Pentru cazul VMdS2, valoarea v_{15}^{DN} este 40,94 km/h. În fine, pentru cazul VMdS1S2, valorile vitezelor v_{15}^{DN} , v_{50}^{DN} respectiv v_{85}^{DN} sunt de 40,21 km/h, 52,23 km/h și 62,64 km/h.

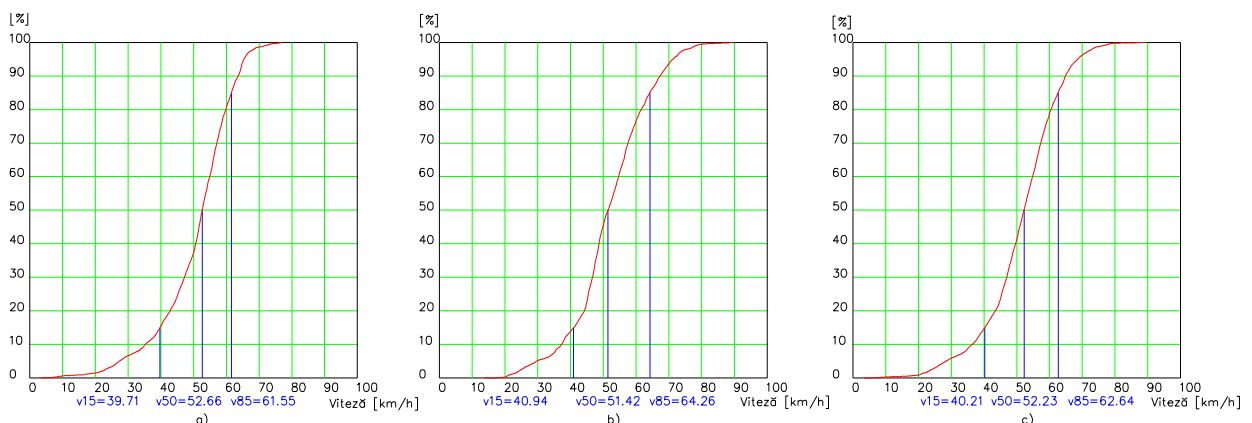


Figura 4.29. Curbele frecvențelor cumulate pentru vitezele instantanee înregistrate pe drumul național
a) pentru VMdS1; b) VMdS2; c) VMdS1S2

Diagrams of cumulated frequencies for instantaneous speeds measured on the highway

a) for VMdS1; b) VMdS2; c) VMdS1S2

4.3.2.2. Rezultate privind determinarea valorilor T_{v15} și D_{v15} aferente manevrelor executate de VMd în intersecțiile DF- DN

În Figura 4.30 se observă modul de determinare a valorilor T_{v15} și D_{v15} , obținute la parcurgerea cursei 0 – 1, de către VMdS1. Interesant este modul de corelație a variației vitezei cu variația accelerației longitudinale. Analizând diagrama accelerației se observă că, în timpul și după efectuarea manevrei de ieșire, variația accelerației (zona A) este influențată de schimbările de viteză efectuate de șoferul S1. Înainte și în timpul efectuării manevrei de intrare pe drumul forestier VMdS1 frânează până la un punct T (Figura 4.30, zona B), după care vehiculul accelerează până la momentul în care spatele remorcii depășește zona părții carosabile a drumului național. De regulă, punctul T reprezintă limita până la care șoferul se asigură că manevra de virare se va efectua în condiții de siguranță. După efectuarea asigurării de virare, șoferul accelerează, intrând pe drumul forestier. Bineînțeles că după intrarea pe drumul forestier, șoferul adaptează viteza de circulație la noul drum accesat.

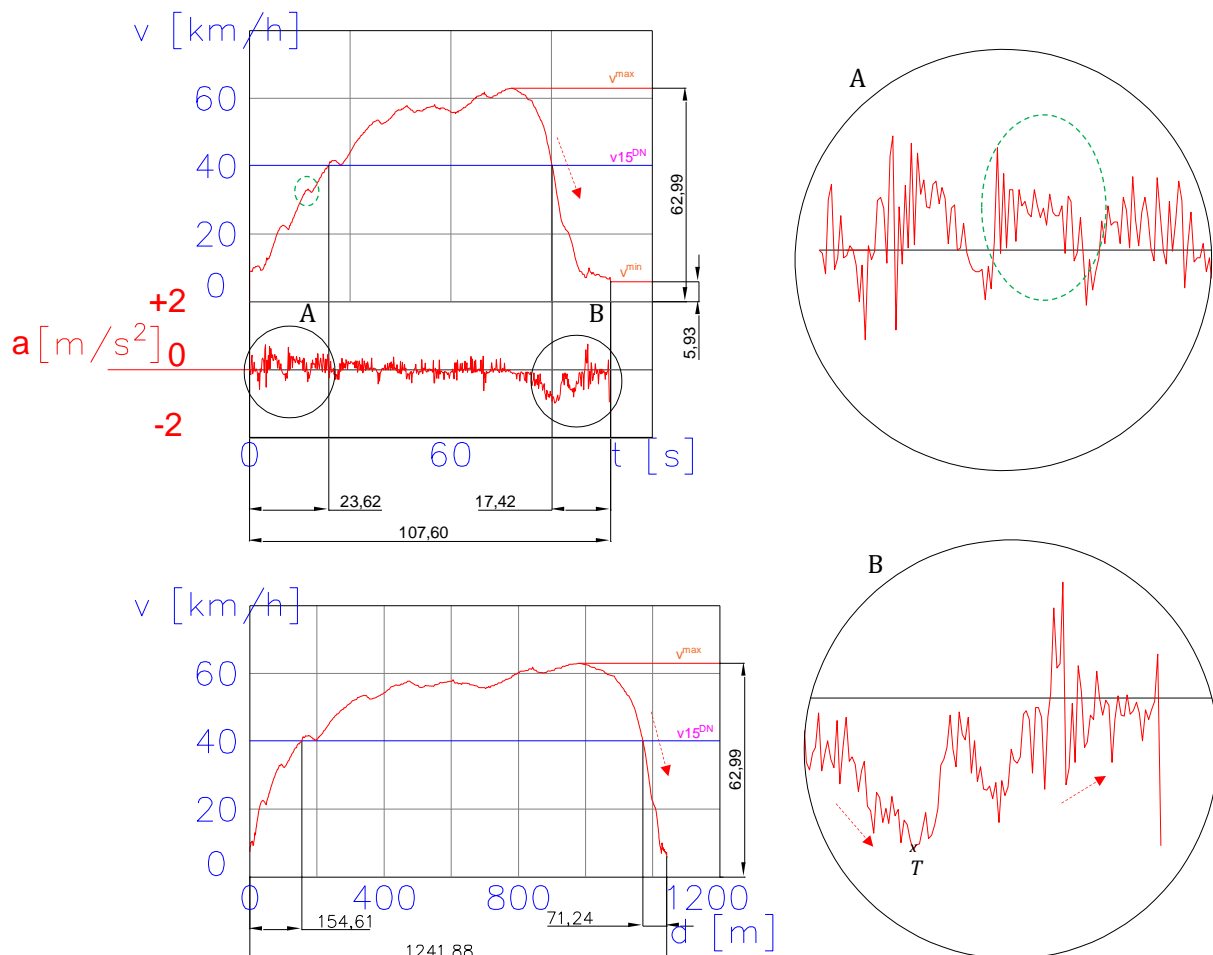


Figura 4.30. Determinarea valorilor T_{v15} respectiv D_{v15} pentru cursa 0-1, VMdS1, GPS1. Corelația dintre variația vitezei și accelerația longitudinală

Ascertaining of T_{v15} and D_{v15} for the 0-1 route, VMdS1. Correlation between the speed variation and longitudinal acceleration

Valorile vitezelor înregistrate de către GPS 1 (amplasat pe cabina VMd) și GPS 2 (amplasat în zona axei din spate a remorcii), aferente traseului 1-2, sunt prezentate în Figura 4.31. După cum se observă în zona A, graficele vitezelor înregistrate de cele două instrumente prezintă variații similare. Având în vedere că drumul național prezintă o sinuozitate orizontală relativ mare (sectoarele de drum

național aferente intersecțiilor DF – DN din județul Braşov prezintă o sinuozitate orizontală medie de 50,25%), vitezele instantanee măsurate sunt ușor diferite pentru cele două puncte de amplasare a aparaturii. Acest aspect este evidențiat și de valorile unghiurilor de orientare față de nord (eng – „heading” - zona C). Din aceste considerente, reiese faptul că pentru cele două seturi de date (GPS 1 și GPS 2), rezultă valori relativ diferite ale valorilor T_{v15} și D_{v15} . Având în vedere că vitezele instantanee diferă pentru fiecare punct de amplasare a aparaturii, în consecință valorile accelerațiilor vor prezenta diferențe (zona B).

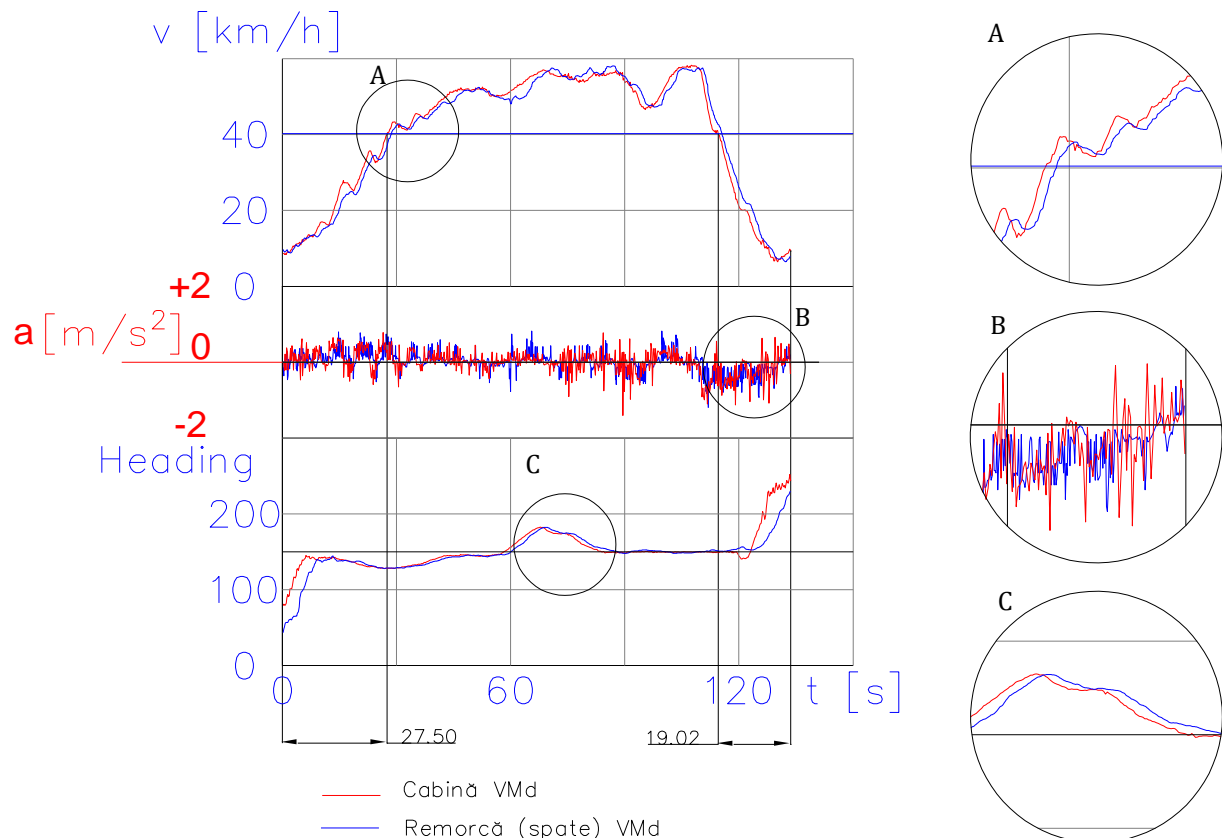


Figura 4.31. Determinarea valorilor T_{v15} pentru cursa 1-2, VMdS1, GPS1, GPS2. Corelația dintre variația vitezei, accelerația longitudinală și unghiul de rotație

Ascertaining of T_{v15} for the 1-2 route, VMdS1. Correlation between the speed variation, longitudinal acceleration and gyration angle

În Figura 4.32 se observă determinarea valorilor T_{v15} pentru situația în care VMdS1 parcurge traseul 2 – 3. Datele prelucrate sunt cele preluate de la aparatura GPS 1. Interesant este modul în care elementele geometrice ale sectorului de drum național influențează major parametrii de dinamicitate ai traficului rutier. Urmărind traseul în plan orizontal (zona A) se observă că acesta prezintă o succesiune de curbe. Acest aspect este evidențiat și în graficul vitezelor prin reducerea acestora sub valoarea $v15^{DN}$. De asemenea, în graficul accelerațiilor longitudinale se observă, în aceeași zonă, o serie de accelerări și frânări, efectuate la intervale scurte de timp. Zona curbelor orizontale succesive este surprinsă și de graficul aferent unghiului de orientare față de nord (eng – „heading”). Având în vedere faptul că vehiculul rulează fără încărcare utilă, corelarea dintre parametrii dinamici aferenți traficului și elementele geometrice verticale nu este destul de elocventă. Oricum, pe zonele unde apar diferențe relativ mari se observă o creștere a

accelerațiilor/decelerațiilor. Alte date care reies din graficul prezentat în Figura 4.32 sunt: viteza minimă (v^{\min}), în valoare de 4,20 km/h, viteza v'_{15} de 27,31 km/h, viteza v'_{50} de 45,25 km/h, viteza v'_{85} de 54,64 km/h respectiv viteza maximă dezvoltată la parcurgerea traseului de 60,43 km/h.

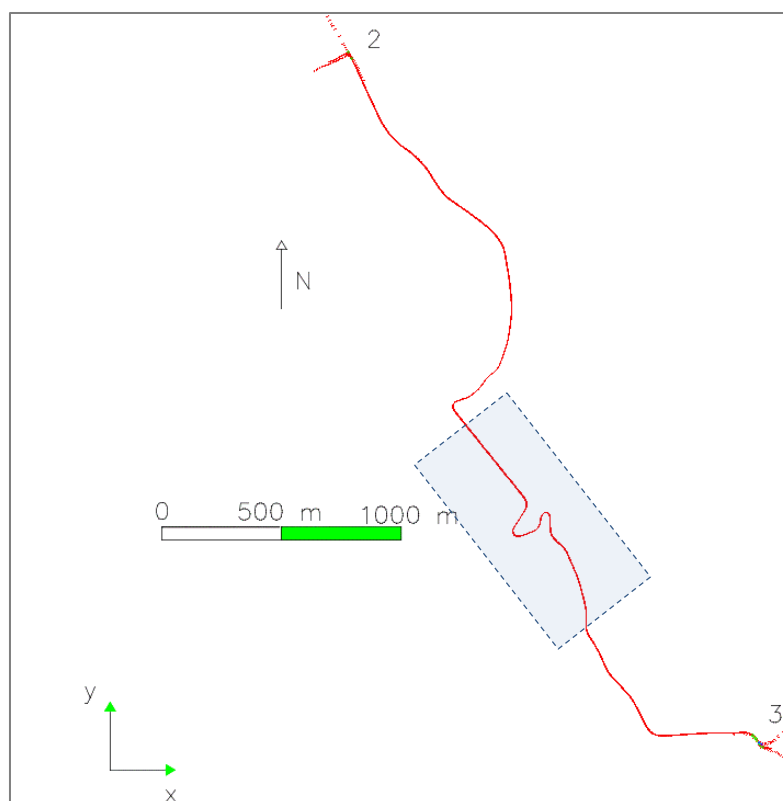
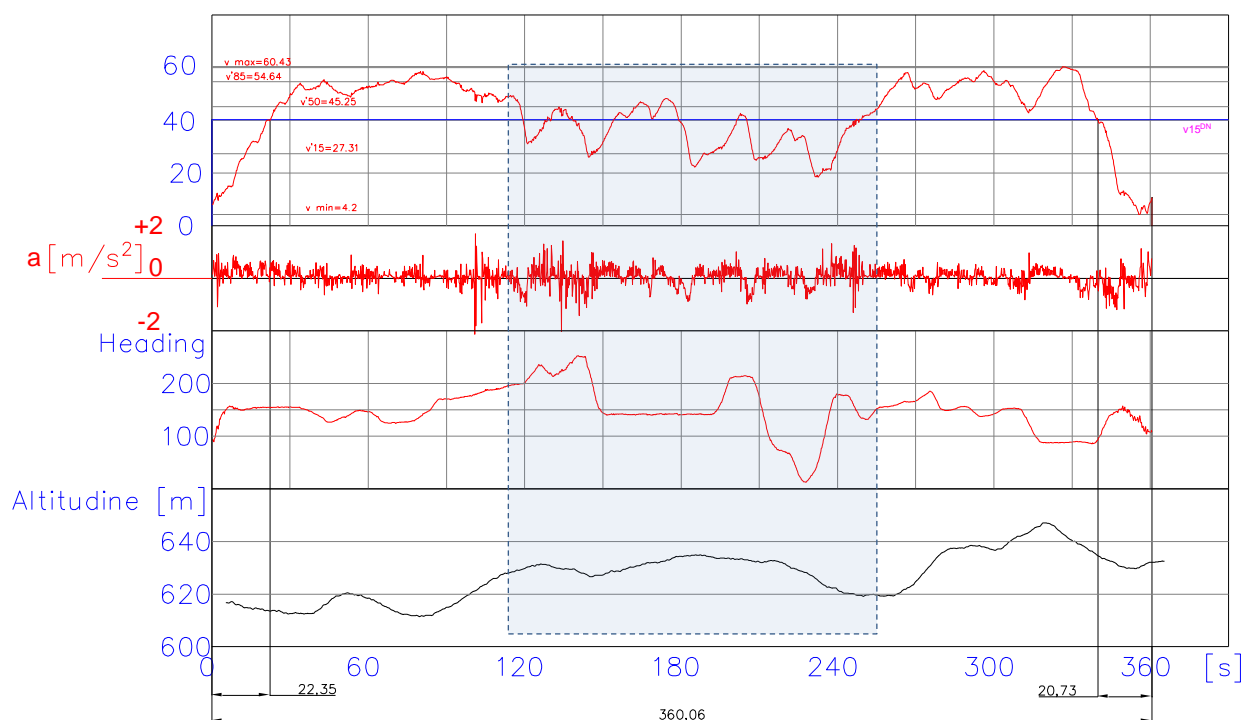


Figura 4.32. Determinarea valorilor T_{v15} pentru cursa 2-3, VMdS1,GPS1. Corelația dintre variația vitezei, accelerația longitudinală, unghiul de rotație și elementele geometrice ale drumului național
Ascertaining of T_{v15} for the 1-2 route, VMdS1. Correlation between the speed variation, longitudinal acceleration, gyration angle and the geometric elements of the national road

Valorile D_{v15} și T_{v15} , corespunzătoare manevrei IsS, sunt prezentate în Figura 4.33. Fiecărui tip de manevră îi corespunde două perechi de valori (două coloane pentru D_{v15} , două coloane pentru T_{v15}). Prima coloană reprezintă rezultatul aferent VMdS1, iar cea de-a doua corespunde pentru VMdS2. Media aritmetică a valorilor D_{v15} este de 163,38 m, iar pentru valorile T_{v15} este în valoare de 25,61 s. În calculul mediilor au fost luate în considerare valorile pentru VMdS1 respectiv VMdS2. Analizând variațiile valorilor D_{v15} , se constată că maximele corespund intersecției 4. Astfel, VMdS1 realizând o ieșire de pe drumul forestier prin virare la stânga, atinge viteza v_{15} aferentă drumului național pe o lungime de 244,87 m, iar în cazul VMdS2 această lungime este de 251,69 m. Desigur, valorile T_{v15} sunt valori maxime. Așadar, ansamblul VMdS1 atinge viteza v_{15} în 33,34 s, iar ansamblul VMdS2 atinge acest prag în 40,34 s. Sub denumirile curselor sunt trecute valorile unghiurilor realizate de axele celor două drumuri intersectate. Aceste valori corespund fiecărei manevre efectuate.

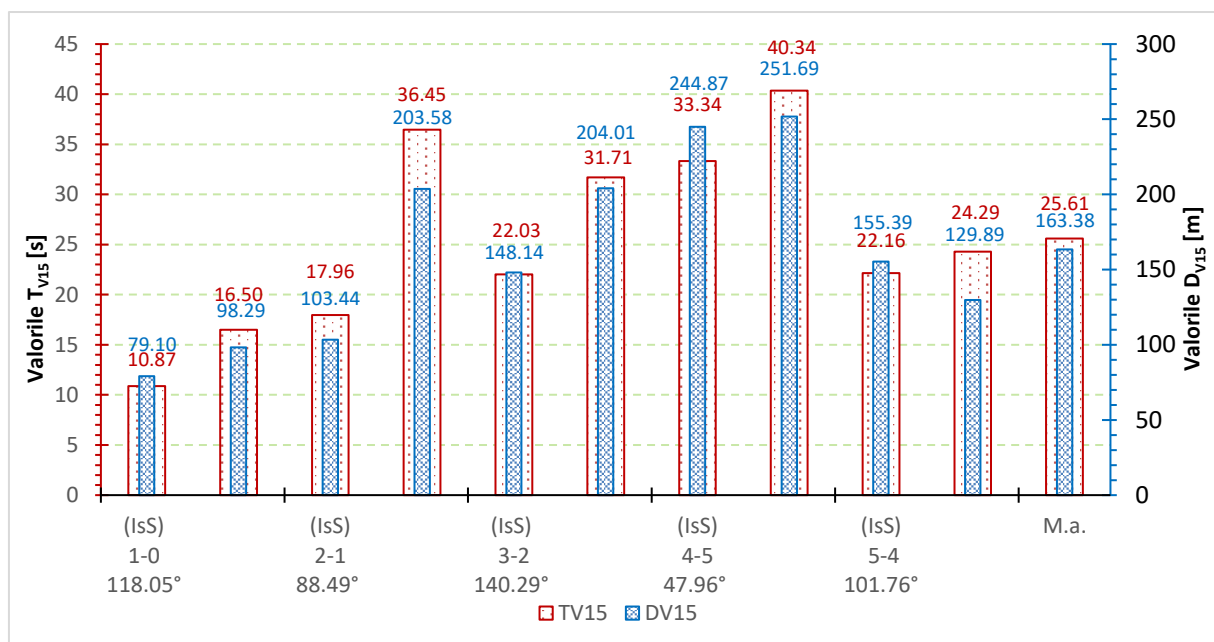


Figura 4.33. Rezultate privind valorile D_{v15} și T_{v15} aferente manevrelor IsS efectuate de către VMdS1, respectiv VMdS2
Results for D_{v15} and T_{v15} values, related to the maneuvers IsS made by VMdS1 and VMdS2

În Figura 4.34 sunt prezentate valorile D_{v15} și T_{v15} pentru manevrele prin care vehiculul martor (VMd) părăsește drumul forestier prin virare la dreapta. Distanța minimă D_{v15} se înregistrează în cursa 1-2, aceasta fiind de 109,96 m, iar valoarea maximă corespunde aceleiași cursei și este de 166,93 m. Durata maximă până la care VMd atinge v_{15}^{DN} este atribuită cursei 1-2, aceasta fiind în valoare de 28,07 s.

Media aritmetică a valorilor T_{v15} obținute pentru IsS este de 20,48 s, iar valoarea medie a distanțelor D_{v15} este de 128,45 m. Abaterea standard a valorilor prezentate este de 3,89, iar coeficientul de variație este în valoare de 18,98%.

În Figura 4.35 sunt reprezentate valorile T_{v15} și D_{v15} pentru situația în care VMd accede pe drumul forestier prin manevra de virare spre dreapta. Valoarea minimă T_{v15} este de 3,32 s, iar valoarea maximă T_{v15} este de 40,56 s. De asemenea, valoarea maximă T_{v15} este 40,56 s, la care valoarea D_{v15}

este de 251,68 m. Unul din factorii care a contribuit la obținerea valorilor maxime este unghiul ascuțit de 47,96°. Mediile celor două seturi de valori sunt: pentru T_{v15} - 18,92 s, iar pentru D_{v15} - 95,96 m. Se poate observa că, pentru șoferul S2, valorile T_{v15} și D_{v15} sunt relativ mai reduse comparativ cu cele obținute în cazul VMdS1. Acest aspect se poate datora atât faptului că șoferul S2 a vizualizat intersecțiile anterior determinărilor efective, cât și a experienței de condus mai mare comparativ cu cea a lui S1.

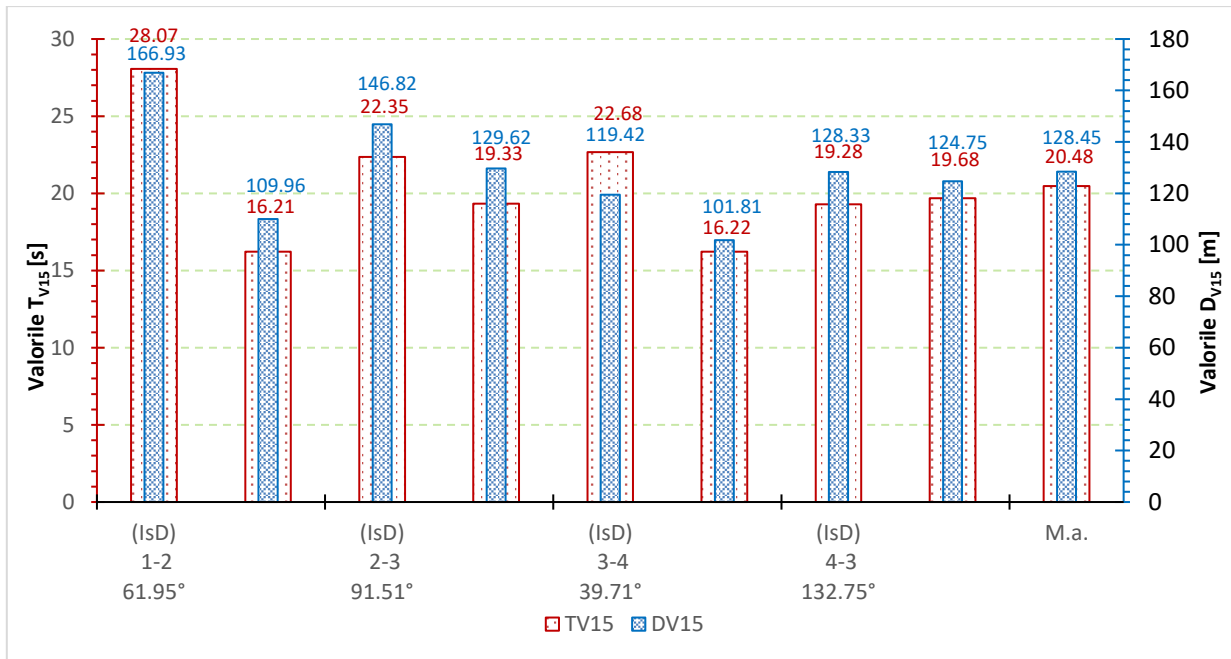


Figura 4.34. Rezultate privind valorile D_{v15} respectiv T_{v15} aferente manevrelor IsD efectuate de către VMdS1 respectiv VMdS2
Results for D_{v15} and T_{v15} values, related to the maneuvers IsD made by VMdS1 and VMdS2

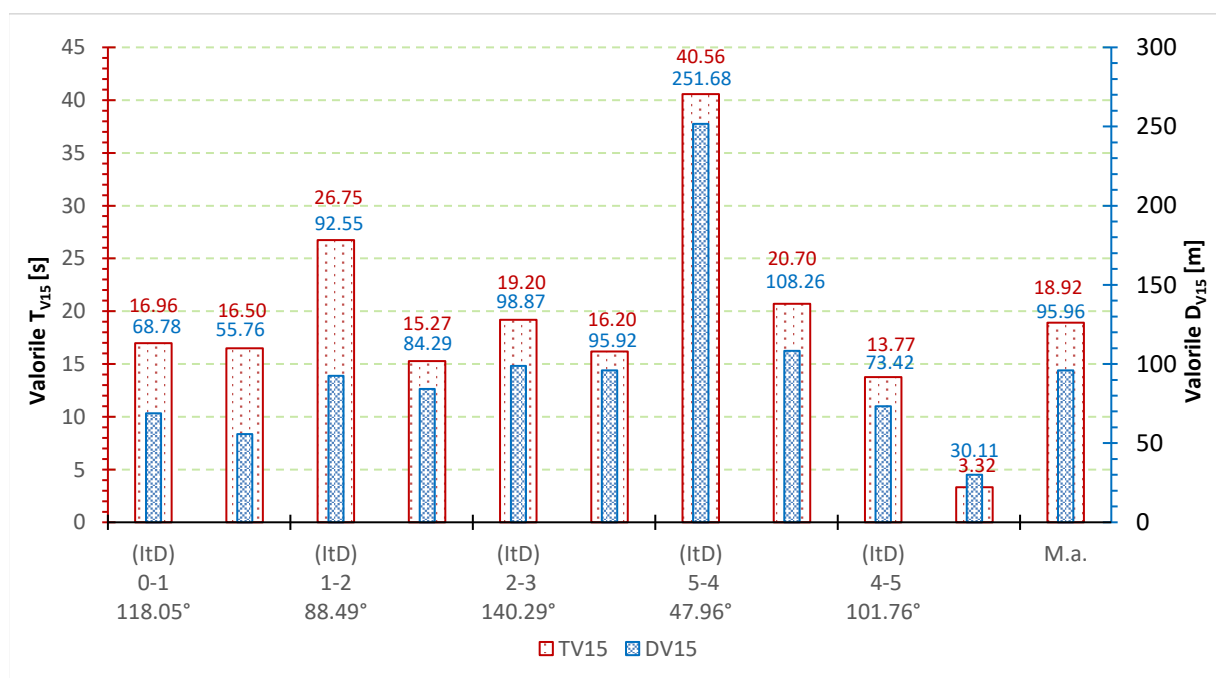


Figura 4.35. Rezultate privind valorile D_{v15} respectiv T_{v15} pentru manevrele ItD efectuate de către VMdS1 respectiv VMdS2
Results for D_{v15} and T_{v15} values, related to the maneuvers ItD made by VMdS1 and VMdS2

Rezultatele obținute pentru tipul de manevră ItS sunt prezentate în Figura 4.36. Valorile minime corespunzătoare T_{V15} și D_{V15} sunt 7,51 s respectiv 48,80 m, iar valorile maxime sunt 25,26 s respectiv 167,95 m. Valorile medii sunt 15,27 s și 67,67 m. Interesant este faptul că valorile maxime au fost obținute pentru cazul în care valoarea unghiului de intersecție este minim ($39,71^\circ$). Realizând o comparare cu valorile aferente IsS, valorile de maxim sunt obținute în același caz, VMdS1. Oricum, valorile T_{V15} și D_{V15} reprezintă caracteristicile ce pun în evidență faptul că, deși vehiculul forestier s-a încadrat pe partea carosabilă a drumului național, acesta poate reprezenta un obstacol mobil pe lungimi considerabile. După atingerea vitezei $V15^{DN}$ se consideră că vehiculul forestier s-a integrat în fluxul de trafic care se desfășoară pe drumul național.

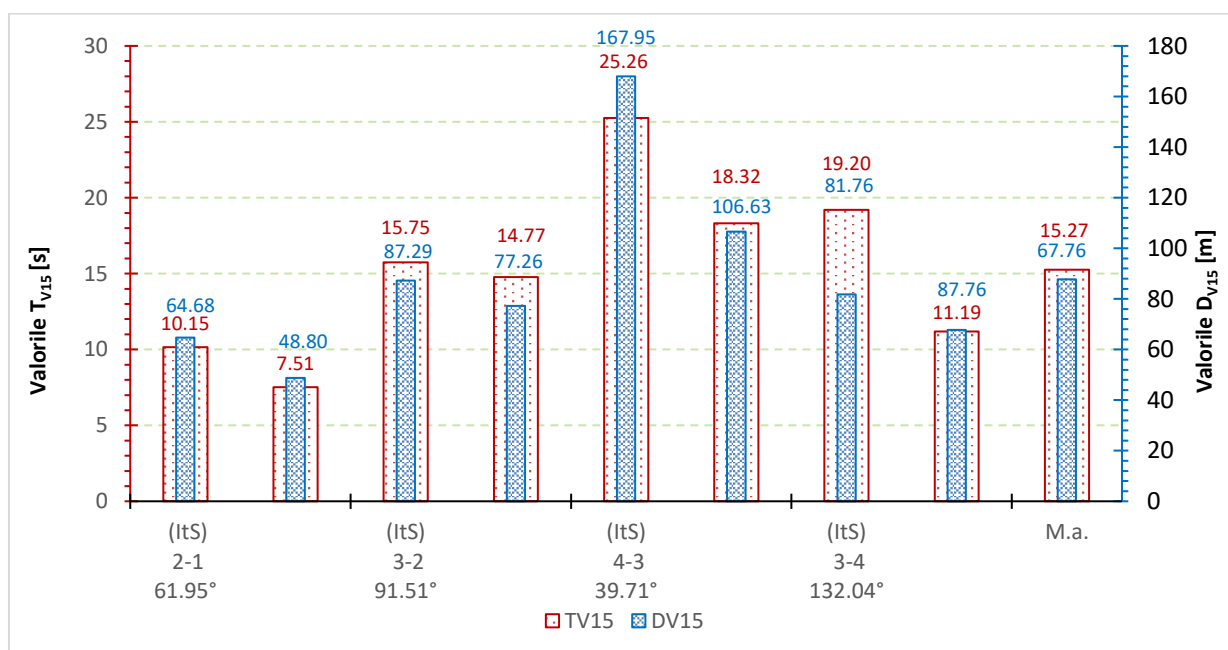


Figura 4.36. Rezultate privind valorile D_{V15} respectiv T_{V15} aferente manevrelor ItS efectuate de către VMdS1 respectiv VMdS2
Results for D_{V15} and T_{V15} values, related to the maneuvers ItS made by VMdS1 and VMdS2

4.3.2.3. Rezultate privind determinarea valorilor T_{V15} și D_{V15} pentru manevrele executate de VMI în intersecțiile DF- DN

În Figura 4.37 sunt prezentate, în mod comparativ, evoluțiile vitezelor dezvoltate de vehiculele VMd și VMI în funcție de distanță (cele patru grafice din partea de sus) și timp. De asemenea, variația vitezelor este prezentată pentru cele două direcții de deplasare a vehiculului martor, și anume 4 - 5, respectiv 5 - 4. Cum era de așteptat, vitezele instantanee dezvoltate de către VMI sunt mai reduse comparativ cu cele obținute de VMd. Acest aspect este vizibil în ambele tipuri de grafice (în funcție de distanță sau timp). De asemenea, în urma analizei graficelor din Figura 4.37, se constată că, pentru ambele tipuri de vehicul martor, formele graficelor sunt similare. Această similitudine se datorează,

în special, elementelor geometrice ale drumului național și relevă acuratețea măsurărilor efectuate în teren.

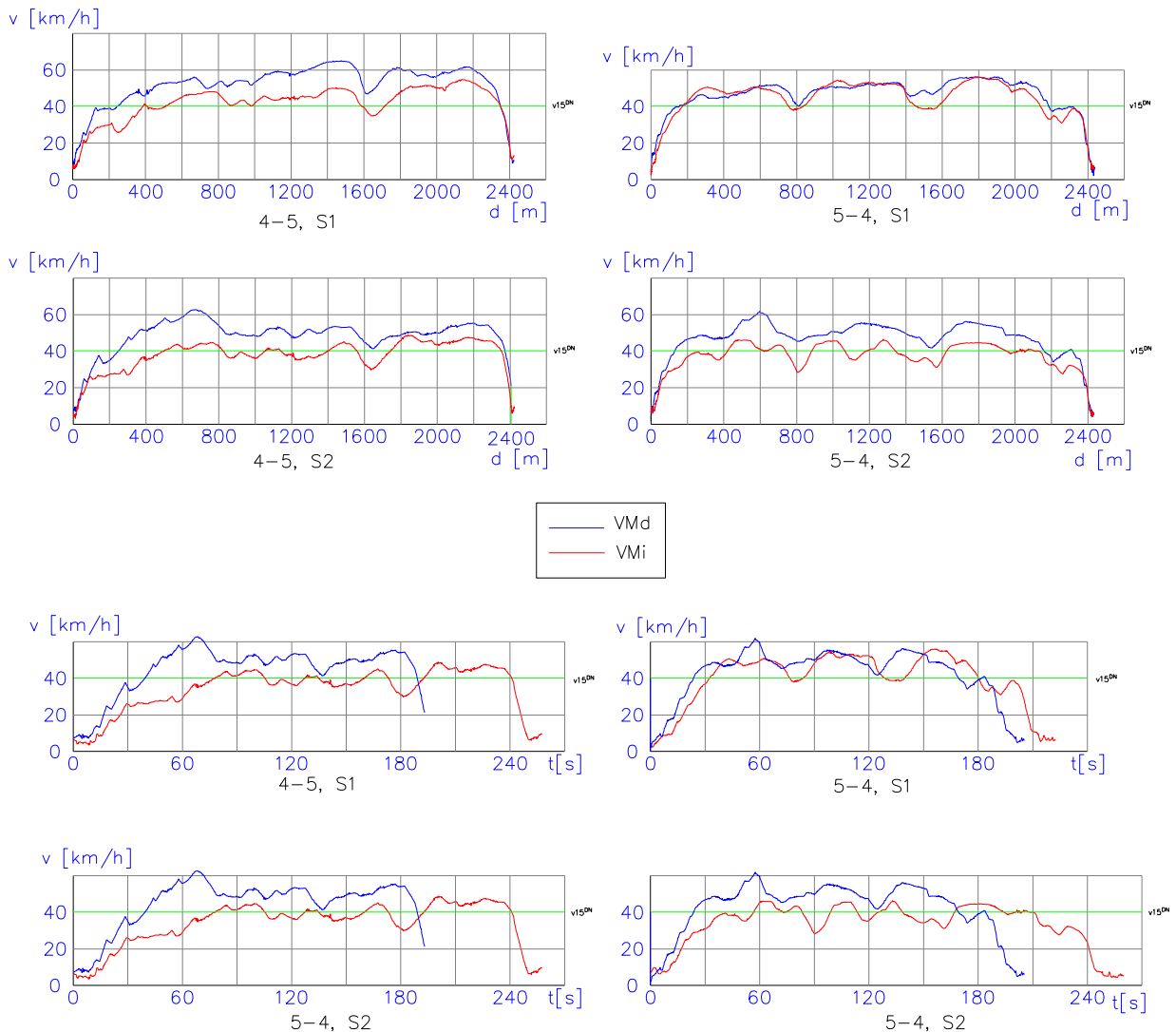


Figura 4.37. Rezultate privind variațiile vitezelor în funcție de distanță și timp pentru ambele tipuri de vehicule maror
Speed variations as function of distance and time, for both types of instrumented vehicles

În Figura 4.38 sunt reprezentate valorile accelerațiilor longitudinale și laterale aferente parcurgerii curselor 4 - 5 și 5 - 4 de către ansamblurile VMdS1, respectiv VMiS1. Acest tip de diagramă este utilizat în aprecierea calității modului de conducere a vehiculelor pentru competiții sportive (exemplu Formula 1) (Covaciu, 2010). Analizând diagramele din Figura 4.38, se constată că vehiculul VMd prezintă valori ale accelerațiilor corespunzătoare fazelor de accelerare, respectiv frânare mai mari comparativ cu cele ale cazului VMi. Acest aspect reiese și din graficele 2D ilustrate în Figura 4.39. Ansamblul VMdS1 parcurge atât manevrele de virare în intersecțiile DF - DN, cât și traseul aferent DN cu o viteză relativ mai mare. Cu alte cuvinte, conducerea vehiculului VMd este una mai alertă comparativ cu cea a vehiculului VMi. Accelerațiile laterale (în sistem de coordonate polare, accelerații centripete) prezintă moduri particularizate de dezvoltare pentru fiecare caz studiat. De regulă, acestea sunt influențate de maniera de condus a șoferilor și de caracteristicile geometrice ale drumului național.

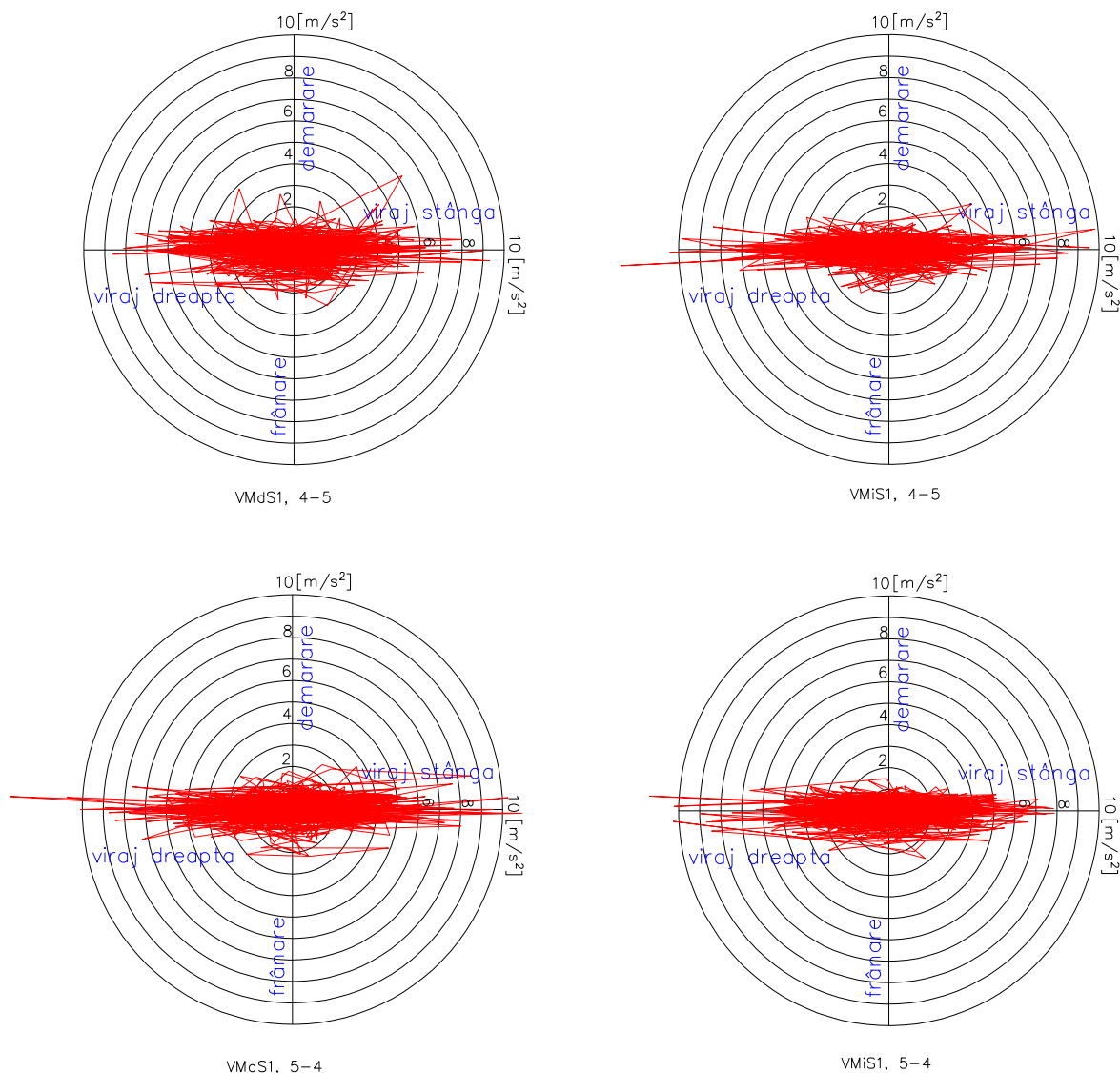


Figura 4.38. Rezultate privind variațiile accelerațiilor longitudinale respectiv laterale pentru cazurile VMdS1 și VMiS1 pentru cursele 4-5 respectiv 5-4

Longitudinal and lateral accelerations for VMdS1 and VMiS1, for the routes 4-5 and 5-4

Pentru a evidenția ponderea accelerațiilor longitudinale în funcție de variația vitezelor instantanee, se impune întocmirea unor reprezentări grafice care să surprindă distribuția bi-parametrică aferentă celor două entități. În Figura 4.39 se observă ponderea de apariție a valorilor accelerație - viteză pentru cazurile VMdS1, cursa 4-5, respectiv pentru VMiS2, cursa 4-5. Pentru valori ale vitezei de peste 40 km/h, VMdS1 dezvoltă ponderi de apariție relativ mari ale accelerațiilor longitudinale (zona A), totuși aceste valori sunt relativ reduse. Acest aspect este similar și pentru ansamblul VMiS1, după atingerea vitezei aproximative de 25 km/h (zona B). De asemenea, se mai observă o pondere mare a accelerațiilor reduse în jurul valorii vitezei de 10 km/h. Ponderea ridicată a accelerațiilor scăzute, aferente vitezelor de deplasare relativ mari, este o caracteristică a deplasării vehiculelor pe trasee ce

prezintă lungimi relativ crescute (spre deosebire de circulația pe străzi urbane, unde frecvența acțiunilor de accelerare respectiv frânare este mult mai mare).

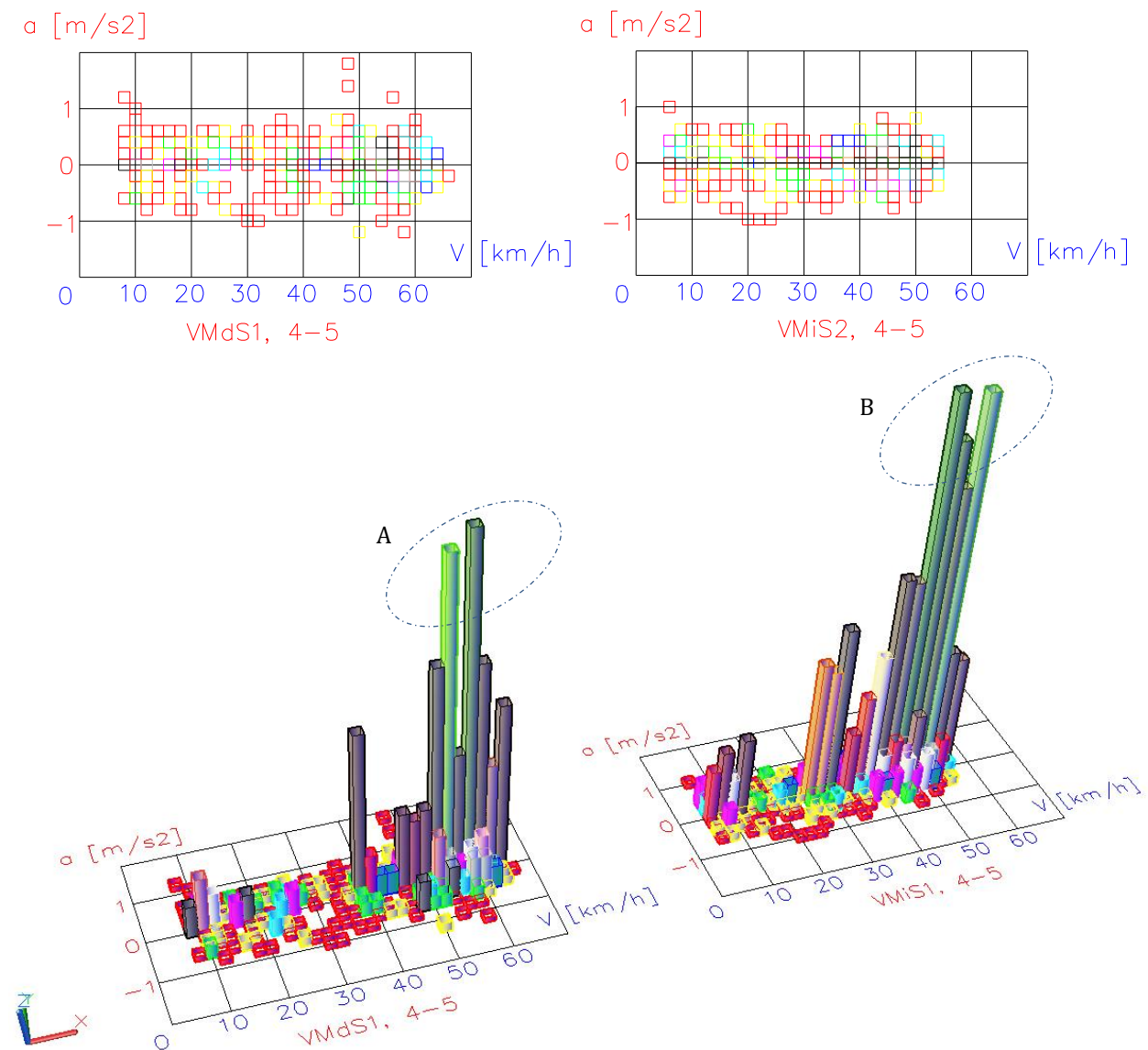


Figura 4.39. Rezultate privind distribuția bi-parametrică accelerație - viteză pentru cazurile VMdS1, 4-5 respectiv VMiS1, 5-4 (sus - reprezentare 2D, jos - reprezentare 3D)

Bi-parametric distribution of acceleration - speed, for the cases VMdS1, 4-5 and VMiS1, 5-4 (top - 2D view, bottom - 3D view)

În Figura 4.40 sunt prezentate rezultatele pentru T_{v15} și D_{v15} pentru tipul de manevră Iss, executată atât de către VMd, cât și de VMi. Comparativ cu cazul VMdS1, creșterea distanței T_{v15} pentru cazul VMiS1, cursa 4-5, este de 88,00%. Pentru aceeași situație, creșterea D_{v15} este de 56,14%. În schimb, pentru cazul în care este implicat șoferul S2, creșterile sunt în valoare de 93,16% respectiv 98,32%. Într-o abordare similară, pentru manevra 5-4, creșterile procentuale sunt de 46,98% și 11,76%, pentru cazul în care vehiculul este condus de șoferul S1, respectiv de 133,31% și 223,63%, pentru cazul în care este implicat șoferul S2.

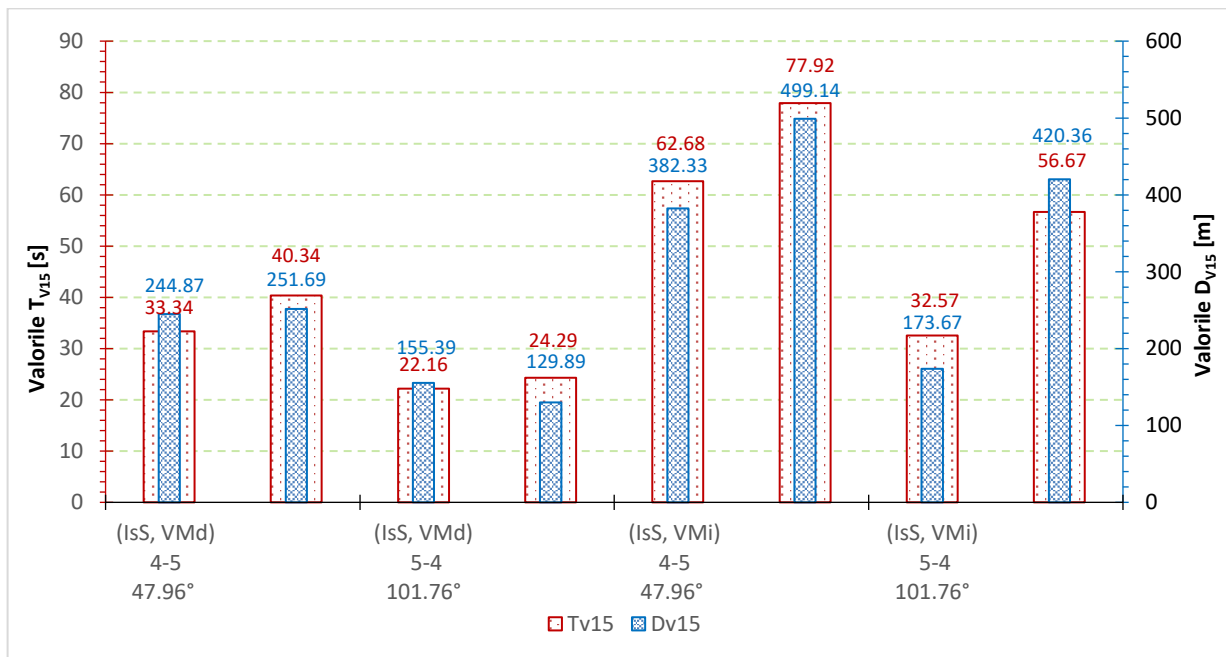


Figura 4.40. Rezultate privind valorile D_{v15} și T_{v15} aferente manevrelor IsS efectuate de către VMiS1 respectiv VMiS2
Results obtained for D_{v15} and T_{v15} , related to maneuvers IsS made by VMiS1 and VMiS2

În cazul manevrelor de intrare din drumul național pe drumul forestier, prin virare la dreapta, din analiza Figurii 4.41, se constată că pentru șoferul S1, cursa 5-4, VMi dezvoltă o creștere a valorilor T_{v15} cu 4,31% și D_{v15} cu 16,38% comparativ cu valorile aferente VMd. Interesant este faptul că pentru cazurile VMdS1, respectiv VMdS2 valorile T_{v15} și D_{v15} , cursa 4-5, sunt relativ mai reduse comparativ cu cazul VMi. Acest fapt se poate datora unui eveniment ce a avut loc în zona intersecției (de exemplu: desfășurarea în coloană a traficului pe drumul național).

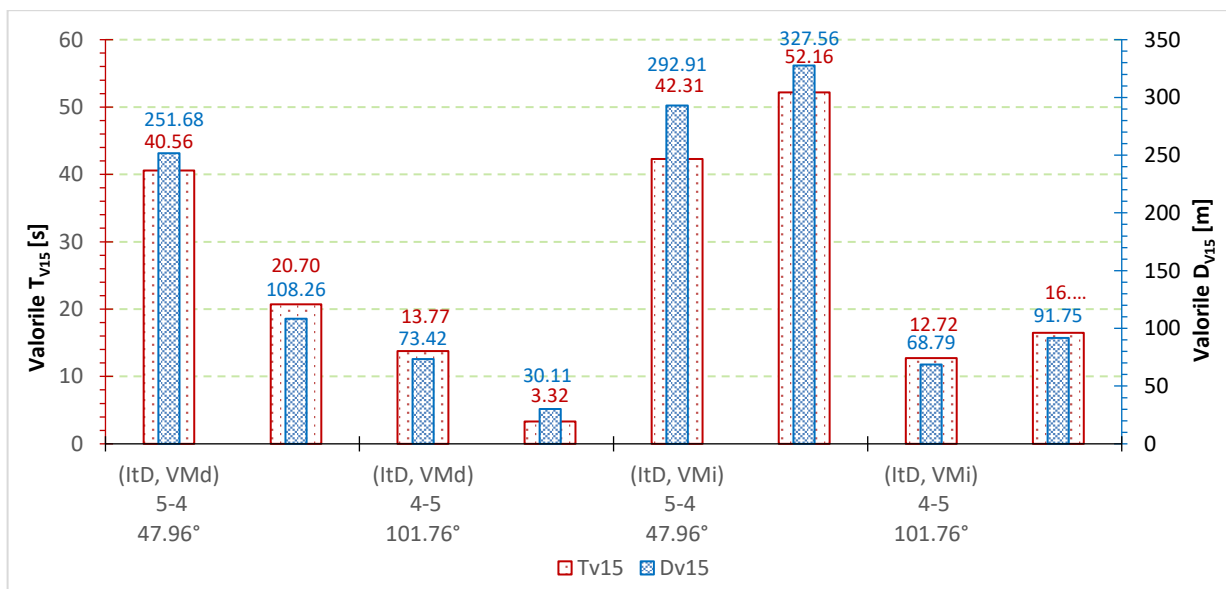


Figura 4.41. Rezultate privind valorile D_{v15} și T_{v15} pentru manevrele ItD efectuate de către VMiS1 respectiv VMiS2
Results obtained for D_{v15} and T_{v15} related to maneuvers ItD made by VMiS1 and VMiS2

În tabelul 4.2 sunt prezentate toate valorile aferente T_{v15} și D_{v15} , pentru manevra IsS efectuată de către VMd, respectiv VMi. Vehiculul VMd este condus de șoferii S1 și S2, iar vehiculul încărcat este condus

de şoferii S1, S2 și S3. Pentru fiecare set de valori s-a calculat media aritmetică. Evident, valorile T_{v15} și D_{v15} obținute pentru cazul VMi sunt relativ mai mari comparativ cu cele aferente VMd.

Tabel 4.2. Rezultate privind valorile T_{v15} și D_{v15} aferente manevrelor de virare a VMi a intersecțiilor DF - DN					
<i>Results on the T_{v15} and D_{v15} values related to the VMi steering maneuvers of the intersections DF - DN</i>					
VMd	IsS 4-5 47.96°	S1	c	T_{v15} [s]	D_{v15} [m]
				33.34	244.87
		S2	c	39.51	249.09
			r	41.17	254.28
			$\overline{T_{v15}, D_{v15}}$	38.01	249.41
			A	B	
	IsS 5-4 101.76°	S1	c	22.16	155.39
			c	23.77	132.11
		S2	r	24.80	127.66
			$\overline{T_{v15}, D_{v15}}$	23.58	138.39
			C	D	
VMi	IsS 4-5 47.96°	S1	c	62.76	386.07
			r	62.59	378.59
		S2	r	77.92	499.14
		S3	c	89.03	474.94
			$\overline{T_{v15}, D_{v15}}$	73.08	434.69
			E	F	
	IsS 5-4 101.76°	S1	c	32.52	173.20
			r	32.62	174.13
		S2	c	56.69	421.10
			r	56.65	419.62
S3		c	42.16	223.98	
	r	41.95	221.45		
	$\overline{T_{v15}, D_{v15}}$	43.77	272.25		
		G	H		

Având în vedere faptul că elementele geometrice ale celor două intersecții sunt relativ similare (excepție făcând unghiul de intersecție), o analiză interesantă este aceea prin care se dorește să se evidențieze în ce măsură valoarea acestui unghi, influențează valorile T_{v15} și D_{v15} . După cum se observă în tabelul de mai sus, unghiurile aferente manevrelor IsS 4-5 și IsS 5-4 sunt de 47,96° și 101,73°. Raportată la a doua valoare, prima este mai mică cu 52,86%. Valoarea medie $\overline{T_{v15}}$ (A), corespunzătoare manevrei IsS, cursa 4-5, prezintă o creștere cu 61,20% față de valoarea $\overline{T_{v15}}$ (C), aferentă manevrei IsS, cursa 5-4. Similar, valoarea medie $\overline{D_{v15}}$ (B), pentru IsS, cursa 4-5, este mai mare cu 80,22% comparativ cu valoarea $\overline{D_{v15}}$ (D), aferentă IsS, cursa 5-4. Pentru cazul VMi, valoarea $\overline{T_{v15}}$ (E), corespunzătoare manevrei IsS, cursa 4-5, este mai mare cu 66,96% față de $\overline{T_{v15}}$ (G), corespunzătoare IsS, cursa 5-4. În fine, pentru entitatea $\overline{D_{v15}}$ (F), a cărei valoare este corespunzătoare manevrei IsS, cursa 4-5, creșterea este de 59,67% față de valoarea $\overline{D_{v15}}$ (H), aferentă manevrei IsS, cursa 5-4. Cu alte cuvinte, pentru o reducere a unghiului cu 52,86%, ansamblul VMd, ce efectuează manevra de accesare a drumului național din drumul forestier prin virare la stânga, se integrează în traficul aferent DN, pe o durată de timp cu 61,20% mai mare, respectiv pe o distanță mai mare cu 80,22%. Procentele pentru camionul încărcat cu sarcina utilă maximă sunt: creșterea timpului de integrare în fluxul de trafic aferent DN este de 66,96%, iar distanța corespunzătoare v15DN crește cu 59,67%. Această similaritate denotă și acuratețea măsurătorilor.

V. Cercetări și soluții privind îmbunătățirea funcționalității rostului joncțional drum forestier – drum național utilizând metoda FEM

5.1. Materiale și Metode

5.1.1. Utilizarea Metodei Elementului Finit în calculul structurilor rutiere în context științific internațional

În calculul structurilor rutiere timp de aproape 40 de ani s-au utilizat cu precădere metode empirice sau cvasi-empirice (Bayat și Knight, 2010; Shafabakhsh *et al*, 2015). În literatura științifică internațională cu activitate în domeniul drumurilor se încearcă în ultimul timp ca analiza numerică de calcul să se efectueze în condiții cât mai realiste cu privire la solicitarea statică și dinamică provenită de la autovehicule. Astfel, se dorește efectuarea unui calcul amănunțit cu privire la starea de deformare reală a straturilor rutiere dezvoltată pe parcursul exploatării respectivului drum (Huang, 2004; Cebon, 2006, Beskou *et al*, 2016b). În acest context se impune metoda elementului finit în calculul structurilor rutiere.

Metoda Elementului Finit este utilă deoarece în ipotezele de calcul se introduc încărcări reale, astfel se realizează un prim pas în calculul realistic al structurilor rutiere (Beskou *et al*, 2016a; Beskou *et al*, 2016b). Așadar, într-un model FEM încărcarea transmisă de vehicul la structura rutieră poate fi modelată sub diverse comportamente de solicitare, precum: încărcare statică (Cho *et al*, 1996; Jooste, 2002; Mulungye *et al*, 2007; Kim, 2007), încărcare dinamică staționară (Mamlouk și Davies, 1984; Nazarian și Boddapati, 1995; Shoukry și William, 1999; Wei, 2007; Zheng *et al*, 2012) și încărcare cvasi-statică sau dinamică („moving loads”) (Yang and Hung, 2001; Elseifi *et al*, 2006; Yin *et al*, 2007; Yoo și Al-Qadi, 2007; Al-Qadi *et al*, 2008; Ju, 2009; Liao și Sargand, 2010; Khavassefat *et al*, 2012; Ambassa *et al*, 2013; Ahmed *et al*, 2015; Valášková și Lajčáková, 2017; Han *et al*, 2018).

După Sadeghi și Hesami, 2017, metoda FEM este utilă în calculul structural destinat pentru toate tipurile de structuri: flexibilă, semirigidă și rigidă. De altfel, aceștia realizează o cercetare asupra rosturilor în cazul structurilor rutiere rigide. În acest studiu se menționează că metoda 2D FEM este utilă în observarea modului de determinare a stării efort - deformație în zona rosturilor transversale (Davids *et al*, 1998; Hesami și Sadeghi, 2015), iar metoda 3D FEM este utilă pentru a observa lucrabilitatea rostului sub influența unor factori (ex. forța de frecare) (Channakeshava *et al*, 1993; Abo-Qudais și Al-Qadi, 2000; William și Shoukry, 2001; Shoukry *et al*, 2002).

Atunci când încărcarea este circulară calculul structurilor rutiere se poate efectua cu metoda 2D axial simetrică și se poate determina starea de efort – deformație în planul vertical. Practic se sintetizează un model al structurii rutiere într-un plan vertical și radial ce este supus la o încărcare liniară uniform distribuită (Howard și Warren, 2009; Ranadive și Tapase, 2016b). Analiza 2D FEM este utilă când se dorește să se determine rapid starea de eforturi în planul vertical al structurii rutiere, dar totuși pentru o analiză amănunțită se impune utilizarea metodei 3D FEM (Zienkiewicz și Taylor, 1991;

Ranadive și Tapase, 2016b) Oricum, mulți cercetători preferă metoda 2D FEM în defavoarea 3D FEM (Tutumluier *et al.*, 2003; Sinha *et al.*, 2014; Ranadive și Tapase, 2016a). În schimb, cercetători precum Broutin și Sadoun, 2016 au utilizat metoda 3D FEM în calculul structurilor rutiere. Pentru că metoda de calcul a permis, aceștia au introdus o serie de ipoteze simplificatoare, precum: variația încărcării de la modul static la modul dinamic. De asemenea locul încărcării a variat pe suprafața modelului (centrul suprafeței, muchie, colț) și suplimentar în structura rutieră s-au introdus eforturi date de variația de temperatură.

Metoda elementului finit este folosită cu succes atât pentru determinarea modului de fisurare a mixturii asfaltice (Lancaster *et al.*, 2013; Yin *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2018; Somé *et al.*, 2018), cât și pentru a determina modul de dezvoltare a fâgășurilor pentru structurile rutiere (Arabani *et al.*, 2014; Imaninasab *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2017; Shanbara *et al.*, 2018). Alți cercetători, precum Ambassa *et al.*, 2013, au reușit să preconizeze durata de viață a unui drum utilizând metoda FEM. De asemenea, prin utilizarea metodei 3D FEM se pot modela deformațiile verticale dezvoltate ca urmare a încărcărilor date de trafic pentru o structură rutieră ce prezintă un comportament linear vâscos-elastic (Ramos-García și Castro, 2017; Shanbara *et al.*, 2018). Interesant este faptul că utilizând metoda 2D FEM, cu ajutorul soft-ului Plaxis 2D™, s-a reușit să se calculeze capacitatea portantă CBR (eng - "California bearing ratio") pentru pământul de fundare (Narzary și Ahamad, 2018).

De regulă, în calculul FEM al structurilor rutiere se folosesc softurile ANSYS™ respectiv ABAQUS™ (Zhang *et al.*, 2017). Soft-ul ABAQUS™ a fost folosit în soluționarea următoarelor probleme: determinarea adâncimii de fâgășuire sub diferite încărcări și temperaturi induse (Yaning *et al.*, 2015), determinarea corelației dintre adâncimea de fâgășuire și timpul de aplicare al încărcării și corelația dintre modul de fâgășuire și grosimea straturilor (Yao *et al.*, 2012), determinarea modului de fâgășuire pentru stratul de uzură ranforsat cu material cauciucat în procente de 10%, 20% respectiv 30% (Imaninasab *et al.*, 2016), fundamentarea similitudinii dintre rezultatele obținute prin metoda 3D FEM și rezultate de laborator (Pirabarooban *et al.*, 2003), determinarea modelului de interacțiune pneu - carosabil (Xia, 2010; Cao *et al.*, 2012), modelarea elasto-plastică Bailey - Norton și modelarea plastică Mohr - Coulomb în 2D FEM (Shaohui *et al.*, 2015), determinarea modului de propagare al fisurilor în straturile bituminoase utilizând metoda 2DFEM (Gajewski și Sadowski, 2014). Ahmed *et al.*, 2015 au utilizat soft-ul ABAQUS™ pentru calculul structurilor rutiere și au comparat rezultatele obținute cu cele din teren. Se pare că aceste rezultate comparative prezintă valori similare.

Unul din cele mai utilizate softuri pentru calculul FEM al structurilor rutiere este ANSYS™ (Beskou *et al.*, 2016b). Soft-ul ANSYS™ a fost utilizat pentru a soluționa diverse probleme privind calculul structurilor rutiere, printre care: influența dintre tasarea stratului de uzură și modulul de elasticitate al stratului suport (Xu-Qiu *et al.*, 2008), determinarea mecanicii modului de fâgășuire cât și studiul privind comportarea sub trafic a unor soluții prevăzute pentru eliminarea fâgășuirii (Jian-ping *et al.*,

2010), și determinarea relației dintre starea de efort și densitatea materialelor ce constituie straturile rutiere bituminoase.

5.1.2. Instrumentarea Metodei Elementului Finit axial simetrică în determinarea funcționalității rostului joncțional drum forestier – drum național pentru România

5.1.2.1. Principii și particularități

Metoda elementului finit axial simetrică (2D FEM) este parte componentă a amplei metode FEM și se aplică cu succes în cazul modelelor de calcul axial simetrice. În general, modelele axial simetrice sunt caracterizate de simetrie axială în ceea ce privesc atât caracteristicile fizico-mecanice cât și modelul de încărcare (Faur, 2002). În principal, această metodă se pretează în calculul stării de efort – deformație aferent structurilor rutiere, datorită faptului că atât încărcarea verticală rezultată în urma contactului pneu - carosabil se consideră uniform distribuită pe o suprafață circulară, cât și datorită izotropiei materialelor componente. Principiul metodei 2D FEM, prezentat sub formă schematică, se observă în Figura 5.1. Astfel, se consideră o structură rutieră "N" formată din suprapunerea straturilor rutiere n_1, n_2, n_3 și n_4 , și încărcată cu sarcina uniform distribuită pe suprafața circulară ce caracterizează zona de contact pneu - carosabil. La această structură de ansamblu se realizează secționarea cu o suprafață bidimensională definită de axa de revoluție respectiv axa radială. Axa de revoluție reprezintă dreapta verticală ce trece prin centrul suprafeței circulare aferente contactului pneu carosabil. Ca urmare, modelul de calculul complex tridimensional devine un model simetric bidimensional, la care încărcarea este de tipul sarcină uniform distribuită pe lungimea "R" (raza suprafeței de încărcare).

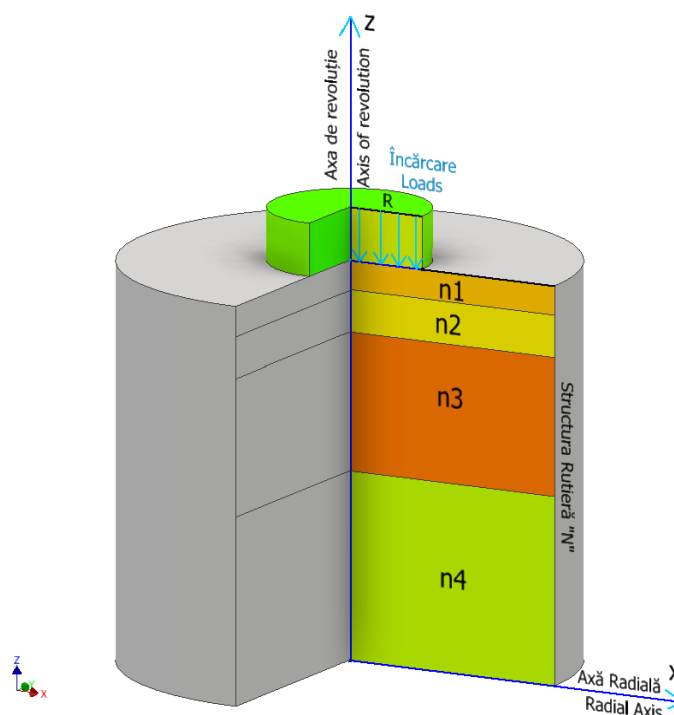


Figura 5.1. Prezentare schematică a modelării 2D FEM în cazul structurilor rutiere (autorul)
Schematic presentation of 2D FEM modeling for road structures

După cum se observă în Figura 5.2, într-un model axial simetric, poziţionat într-un sistem referenţial zOr se dezvoltă următoarele eforturi unitare: pe direcţia radială (Or) – eforturi radiale (σ_r); pe direcţia circumferenţială (φ) – eforturi circumferenţiale (σ_φ) şi pe direcţia axială (Oz) – eforturi unintare axiale (σ_z). Acestea produc deplasări pe direcţiile aferente. Un caz particular pentru modelul axial simetric este că deplasarea radială se consideră nulă (Faur, 2002; Erlingsson; 2007).

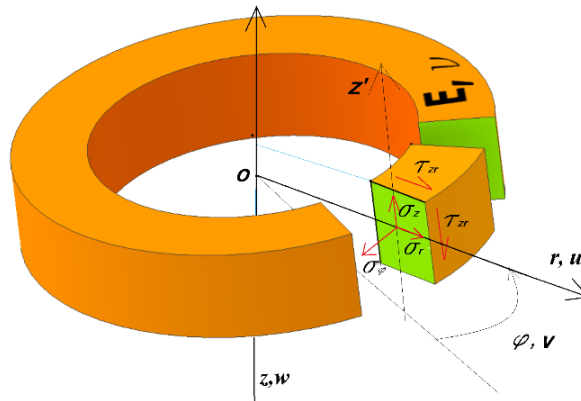


Figura 5.2. Starea de tensiuni în modelul axial simetric (adaptare după Doşa et al., 2010b)
Stress state in the axial symmetric model

După Faur, 2002 şi Erlingsson, 2007 relaţia dintre eforturile (radiale, vertical, tangenţiale) şi deformaţiile specifice (radiale, circumferenţiale, vertical, tangenţiale) (sau Legea lui Hooke) pentru modelul elastic axial simetric este:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_\varphi \\ \sigma_z \\ \tau_{zr} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\varphi \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{zr} \end{Bmatrix}, \quad (5.1)$$

unde:

τ_{zr} - reprezintă eforturile tangenţiale;

γ_{zr} - deformaţiile specifice dezvoltate de către eforturile tangenţiale;

E - modulul de elasticitate al materialului;

ν - coeficientul Poisson al materialului.

De asemenea, tensorul deformaţiei specifice prezintă următoarea formă (Faur, 2002):

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_\varphi \\ \gamma_{rz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial r} \\ \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{u}{r} \\ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \end{Bmatrix} \quad (5.2)$$

Compatibilitatea structurilor rutiere juxtapuse ce formează un rost joncțional se va evidenția prin calcularea și compararea următoarelor valori: presiunile verticale și radiale; deformațiile verticale și deformațiile specifice radiale și verticale.

Această abordare este parțial similară cu alte cercetări în care autorii evidențiază eficiența transferului de sarcină (*eng. load transfer efficiency - LTE*) utilizată în calculul rosturilor dintre plăcile de beton ale structurilor rutiere rigide. În comparație cu această cercetare, diferența este că pentru structuri rutiere rigide se încarcă doar o singură placă, iar determinarea LTE se consideră a fi abilitatea rostului de a transmite încărcarea verticală pe placa adiacentă neîncărcată (Ioannides și Korovesis, 1992; Sadeghi și Hesami, 2017). Valoarea minimă LTE se impune 70% (Wadkar *et al.*, 2011).

În această cercetare, compatibilitatea privind deplasările verticale aferente celor două structuri rutiere, ce formează un rost joncțional, va fi dată de valorile $CD_v S_{n/f}$ și se vor determina după următoarea formulă:

$$CD_v S_{n/f} = \frac{d_n}{d_f} \quad [\%], \quad (5.3)$$

unde,

d_f – deplasarea (sau tasarea) verticală a stratului de uzură aferentă structurii rutiere forestiere [mm];

d_n – deplasarea (tasarea) verticală a stratului de uzură aferentă structurii rutiere naționale [mm].

De asemenea, compatibilitatea privind deformațiile specifice verticale calculate la nivelul superior al stratului (sau straturilor) suport, va fi dată de valorile $CM_v S_{n/f}$ ce se vor determina după următoarea formulă:

$$CM_v S_{n/f} = \frac{d_n}{d_f} \quad [\%], \quad (5.4)$$

unde,

d_f – deformațiile specifice verticale calculate la nivelul superior al stratului suport aferent structurii rutiere forestiere [microdeformații];

d_n – deformațiile specifice verticale calculate la nivelul superior al stratului suport aferent structurii rutiere naționale [microdeformații].

Compatibilitatea dintre cele două structuri rutiere adiacente va fi evidențiată atât prin reprezentarea grafică a principalelor tensiuni și deformații calculate pe adâncimea structurilor rutiere cât și a valorilor procentuale aferente CD_{vSn}/f respectiv CM_{vSn}/f .

5.1.2.2. Stabilirea structurilor rutiere adiacente ce formează un rost joncțional drum forestier – drum național

În funcție de caracteristicile fizico-mecanice atât ale materialelor constitutive cât și de natura traficului auto deservit, de regulă, drumurile forestiere sunt asimilate ca structuri rutiere flexibile alcătuite din 1 – 3 straturi din materiale pietroase (Bereziuc *et al.*, 2008).

În România dimensionarea structurilor rutiere flexibile ale drumurilor naționale se realizează în funcție de clasa tehnică a drumului public. Pentru această cercetare, o structură rutieră propusă este de tipul semirigidă destinată clasei tehnice III. Așadar, conform reglementărilor din STAS 6400-84, această structură trebuie să dețină în componență două straturi de fundație cu grosimile minime pentru strat superior 12 cm respectiv inferior 10 cm, strat de bază din mixtură asfaltică de grosime minimă de 5 cm și îmbrăcăminte bituminoasă de grosime minimă 9 cm. De asemenea, în conformitate cu STAS 6400-84, pentru ca o structură rutieră să fie de tipul semirigidă (mixtă) se impune condiția ca stratul inferior de fundație să fie un balast stabilizat cu lianți hidraulici sau puzzolanici (Fodor și Popescu, 2009).

După cum se observă în Figura 5.3, în calculul compatibilității rosturilor joncționale s-a ales o structură rutieră flexibilă (N_1), aferentă drumurilor naționale și șapte structuri rutiere (F_{1-7}), tipice drumurilor forestiere. Caracteristicile fizico – mecanice aferente structurii N_1 au fost definite după o serie de cercetări și standarde actuale, printre care: Normativ PD177, 2001; Fodor și Popescu, 2009; How, 2014. Structurile ce caracterizează drumurile forestiere au fost impuse în conformitate cu normativul românesc *PD – 003 – 11*. Suplimentar, s-au impus 47 soluții tehnice (S_{1-47}) aferente drumurilor forestiere. Cu alte cuvinte se vor analiza amănunțit compatibilitățile aferente a 54 de rosturi joncționale.

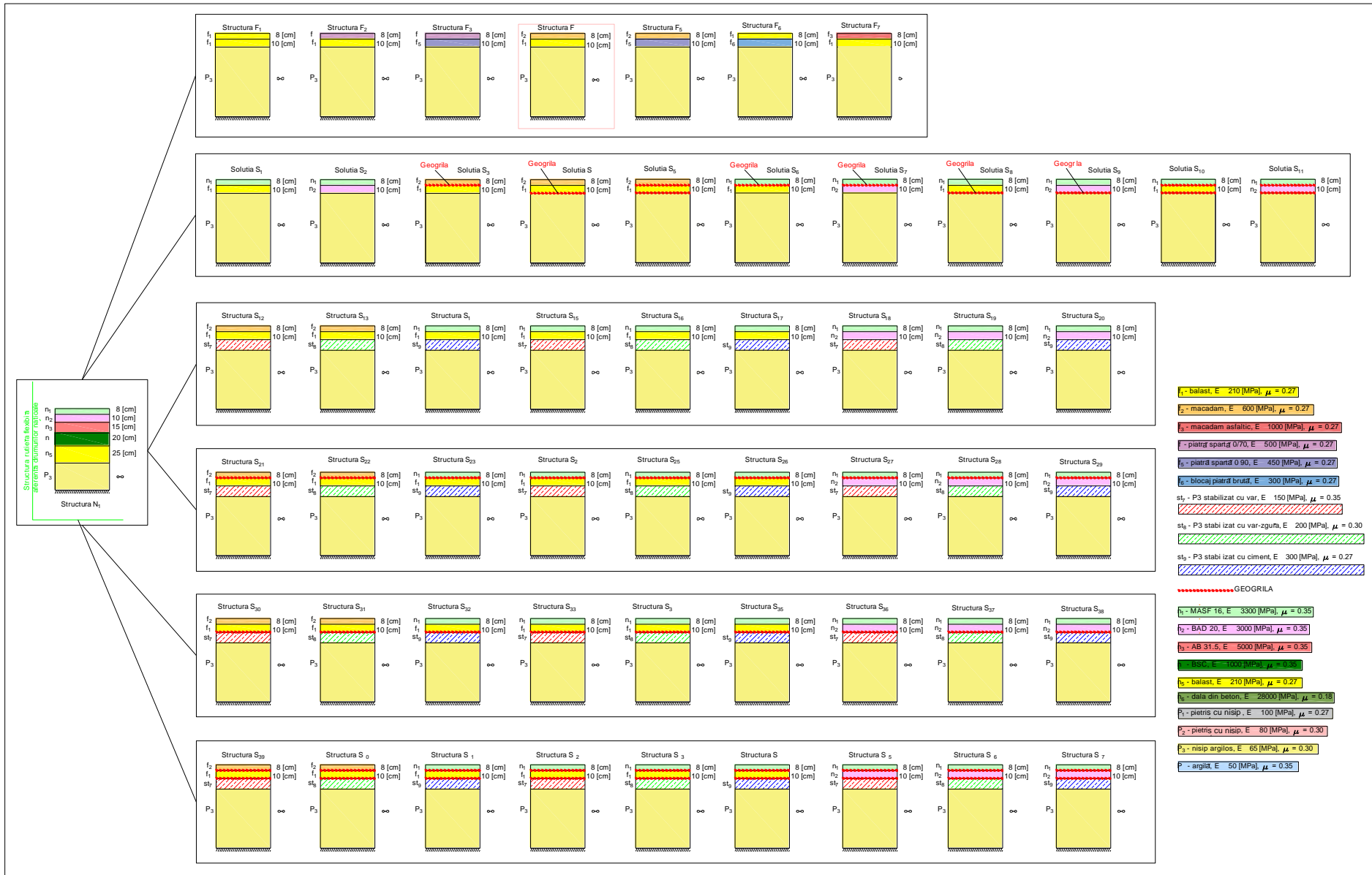


Figura 5.3. Structurile rutiere adiacente rosturilor joncțiunale impuse în calculul 2D FEM (autorul)
Adjacent pavements of junctions imposed in 2D FEM calculation

5.1.2.3. Stabilirea modelelor 2D FEM aferente structurilor rutiere ce formează rost joncțional

A. Stabilirea modului de încărcare

În general încărcarea structurilor rutiere, modelate în 2D FEM, este realizată de către aplicarea sarcinii verticale transmise de vehiculul etalon. De regulă, aceasta este de natură statică și prezintă o distribuție uniformă pe lungimea razei R . În conformitate cu PD 177 – 2002, valoarea încărcării verticale este 0,625 MPa și este aplicată pe o suprafață circulară cu raza $R = 171,10$ mm. Modul schematic al încărcării structurilor rutiere este prezentat în Figura 5.4.

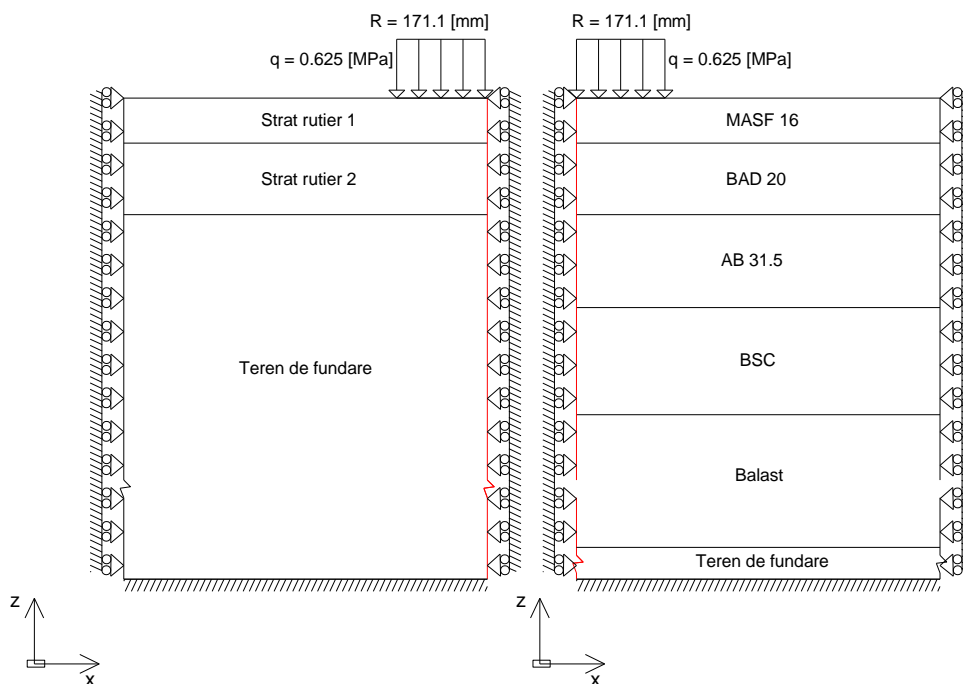


Figura 5.4. Stabilirea modului de încărcare și al condițiilor de contur aferente modelelor 2D FEM (autorul)
Determining load mode and boundary conditions related 2D FEM models

B. Stabilirea condițiilor de contur

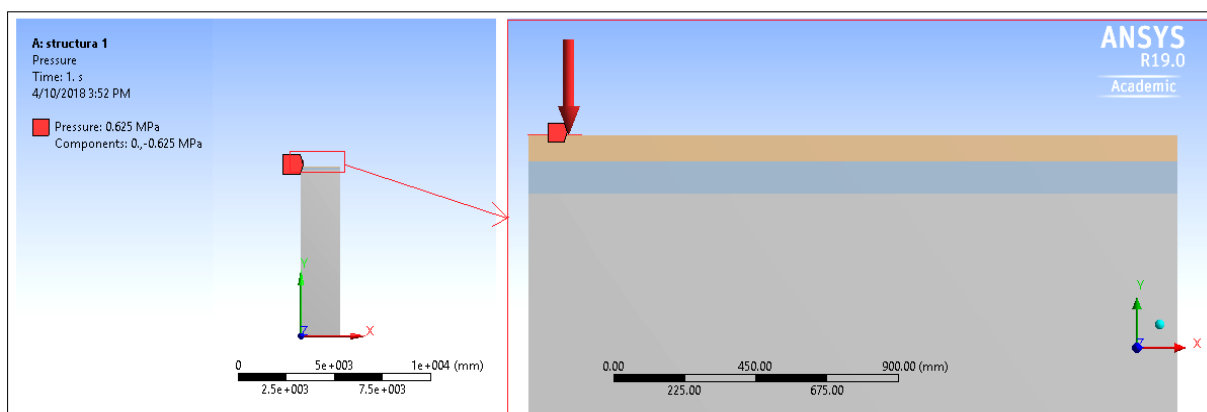
Condițiile de contur sunt similare pentru două tipuri de structuri rutiere (aferente drumurilor forestiere respectiv naționale) și sunt prezentate în Figura 5.4. Astfel, pe direcția verticală, muchiile verticale ale straturilor rutiere pot culisa fără frecare, iar muchia inferioară a stratului suport este încastrată.

5.1.2.4. Implementarea, discretizarea și calculul modelelor 2D FEM utilizând soft-ul ANSYS™

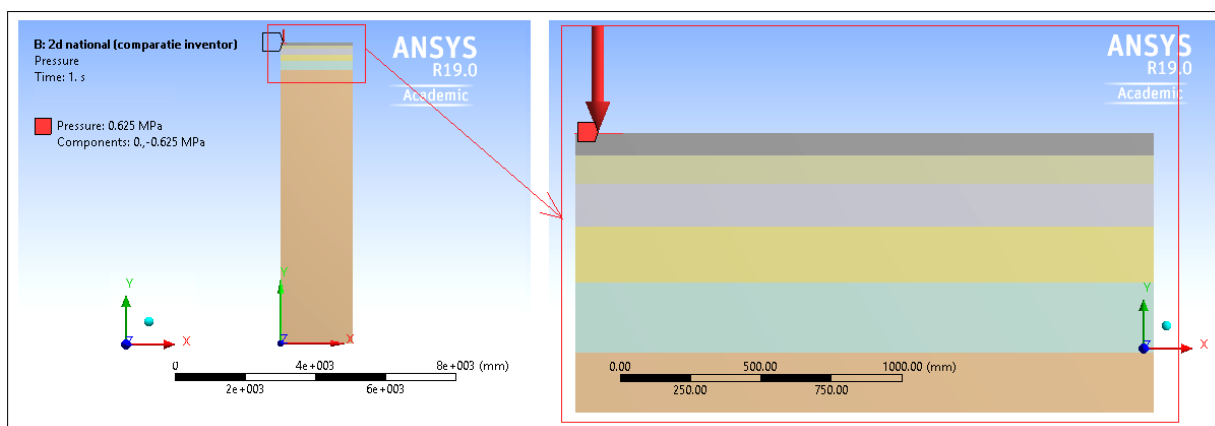
Soft-urile ANSYS™, ABAQUS™ și ADINA™ sunt unele dintre cele mai utilizate soft-uri în calculul elementului finit în mai multe domenii, printre care și calculul structurilor rutiere (Kim, 2007). Utilizând programul ANSYS™ se pot calcula structuri rutiere flexibile, semirigide și rigide. În prezenta cercetare, pentru calculul tensiunilor respectiv deformațiilor, aferente structurilor rutiere ce

alcătuiesc rosturile joncţionale, s-au utilizat versiunile: **ANSYS™ Academic 18.0**, **ANSYS™ Academic 18.2** şi **ANSYS™ Academic 19.0**.

În Figura 5.5, a se observă modul de încărcare a structurilor rutiere aferente drumurilor forestiere cu presiune verticală cu valoarea de 0,625 MPa. Având în vedere că modelul este axial simetric, încărcarea este uniform distribuită pe lungimea $R = 171,1$ mm. Similar a fost definit şi modul de încărcare aferent structurii rutiere semirigide ce aparţine drumurilor naţionale în Figura 5.5, b).



a)



b)

Figura 5.5. Încărcarea structurilor rutiere utilizând soft-ul ANSYS™
a) încărcarea structurii rutiere F4 aferentă drumurilor forestiere; b) încărcarea structurii rutiere N1 aferentă drumurilor naţionale.

Loading road structures. ANSYS™
 a) loading of road structure F4 related to forest roads; b) loading of road structure N1 related to national roads.

Modul de discretizare prezintă particularităţi ce depind de modelarea geometrică şi de caracteristicile mecanice ale materialelor aferente straturilor rutiere. În acest sens, având în vedere că grosimile straturilor scad pe direcţia verticală (sus - jos) rafinamentul discretizării, de asemenea, scade. Acest aspect este ilustrat şi în Figura 5.6.

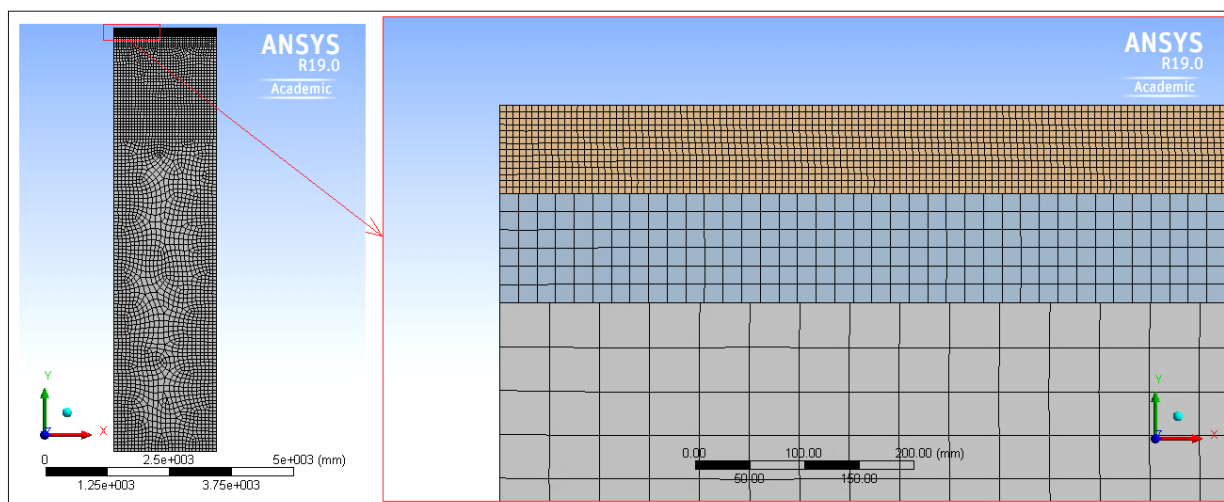


Figura 5.6. Discretizarea modelului aferent structurilor rutiere ce aparțin drumurilor forestiere. ANSYS™
Meshing of road structures belonging to forest roads. ANSYS™

În urma operațiunii de discretizare a modelului aferent drumurilor forestiere au rezultat 26902 noduri și 8537 elemente. Modul de discretizare în planul vertical al acestei structurii rutiere s-a fundamentat pe principiul că straturile rutiere superioare (macadam, balast) și două straturi aferente terenului de fundare de grosimi diferite 200 mm respectiv 1800 mm, se discretizează uniform cu elemente patrulatere. În continuare, în adâncimea structurii rutiere s-a discretizat apelând funcția de mărime adaptivă („Size function” - „Adaptive”). Această funcție s-a apelat pentru a reduce numărul elementelor finite, având în vedere că totuși suprafața verticală a modelului este în valoare aproximativă de 17,57 m².

Ca urmare a optimizării procesului de discretizare pe adâncimea structurii aferente drumurilor forestiere, s-au obținut diverse forme geometrice ale elementelor finite. Această diversitate poate fi evidențiată prin identificarea unor indici cu privire la forma elementelor finite. În general soft-urile moderne de calcul cu element finit au prevăzute diverse funcții pentru a evidenția calitatea geometriei aferente elementelor finite.

Având în vedere că structura rutieră flexibilă aferentă drumurilor naționale, (N1), prezintă mai multe straturi rutiere comparativ cu structurile rutiere aferente drumurilor forestiere, s-a impus (pentru structura N1) un alt mod de discretizare prin care se dorește “îndesirea” elementelor finite în zona de încărcare. De asemenea, discretizarea structurii rutiere N₁ prezintă o optimizare și în zona de contact a straturilor rutiere. După cum se observă în Figura 5.7, valorile aferente lățimilor respectiv înălțimilor elementelor finite scad pe direcția orizontală (spre zona de încărcare) și pe direcția verticală jos – sus (de asemenea spre zona încărcată). Formele geometrice ale elementelor finite se caracterizează ca fiind patrulatele cu calitate ortogonală maximă. Practic, laturile elementelor prezintă paralelism cu laturile structurii rutiere.

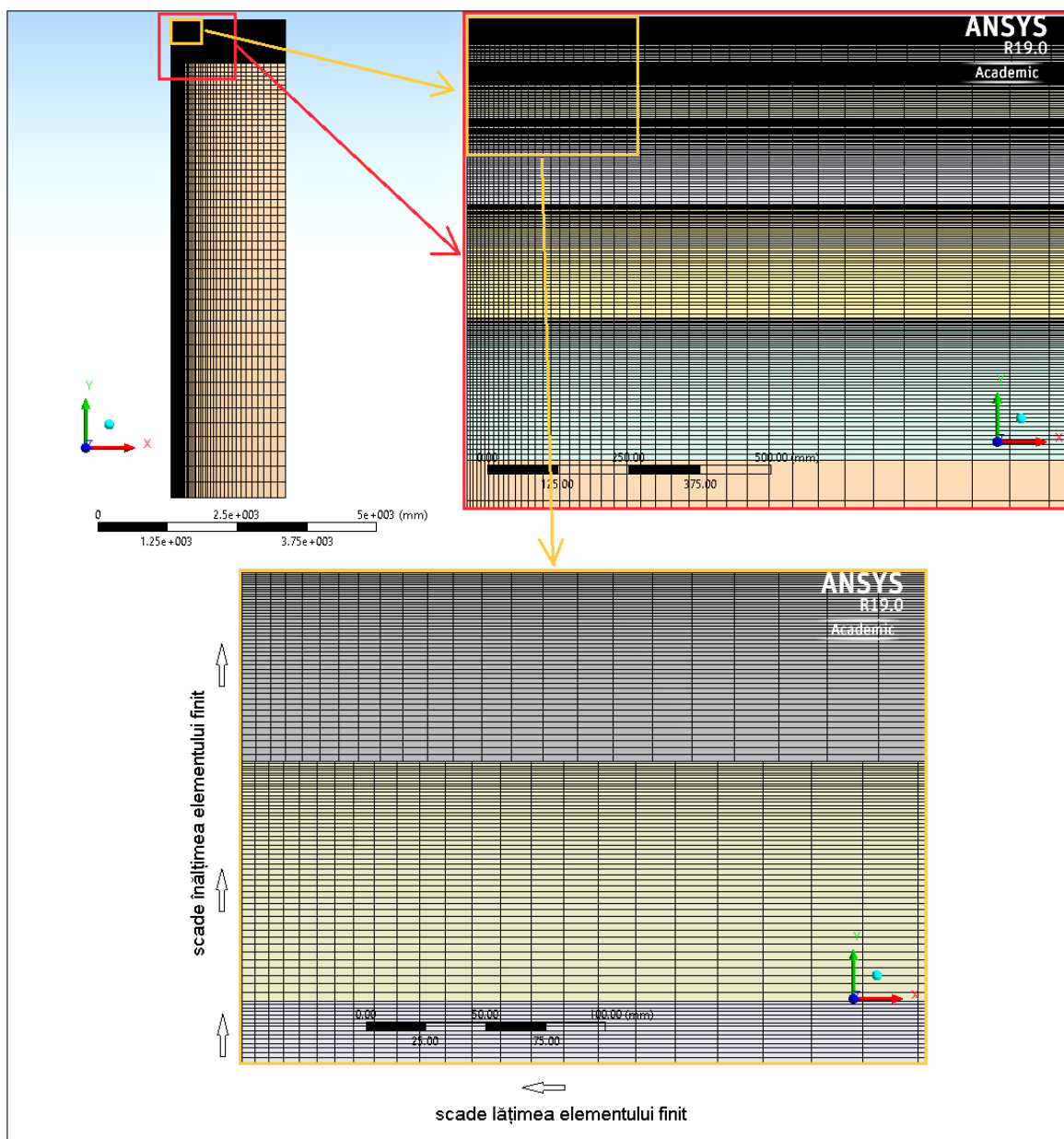


Figura 5.7. Discretizarea modelului aferent structurii rutiere N_1 ce aparține drumurilor naționale. ANSYS™
Mesh model for the pavement belonging to national roads. ANSYS™

5.1.3. Instrumentarea validării metodei utilizate

Validarea metodei 2D FEM utilizată în calculul structurilor rutiere aferente rosturilor joncționale s-a efectuat prin realizarea unui studiu comparativ privind rezultatele obținute atât cu metoda propusă cât și cu alte două metode clasice (analitice) utilizate pe scară largă în dimensionarea structurilor rutiere. Rezultatele comparative, obținute pe același tip de structură aferentă drumurilor forestiere, F4 din Figura 5.3, s-au calculat utilizând următoarele metode / soft-uri: metoda 2D FEM / ANSYS™, metoda Burmister / CALDEROM 2000™ (România) și Weslea / RUBICON ToolBox™ (Germania).

5.2. Rezultate și discuții

5.2.1. Rezultate privind validarea metodei 2D FEM în calculul structurilor rutiere aferente drumurilor forestiere din România

Prima etapă în validarea metodei utilizate este determinarea tensiunilor radiale pentru structura rutieră aferentă drumurilor forestiere prin utilizarea soft-urilor ANSYS™ și CALDEROM 2000™, cu metodele de calcul a 2D FEM respectiv Burmister. Rezultatele acestor determinări sunt prezentate în Figura 5.8.

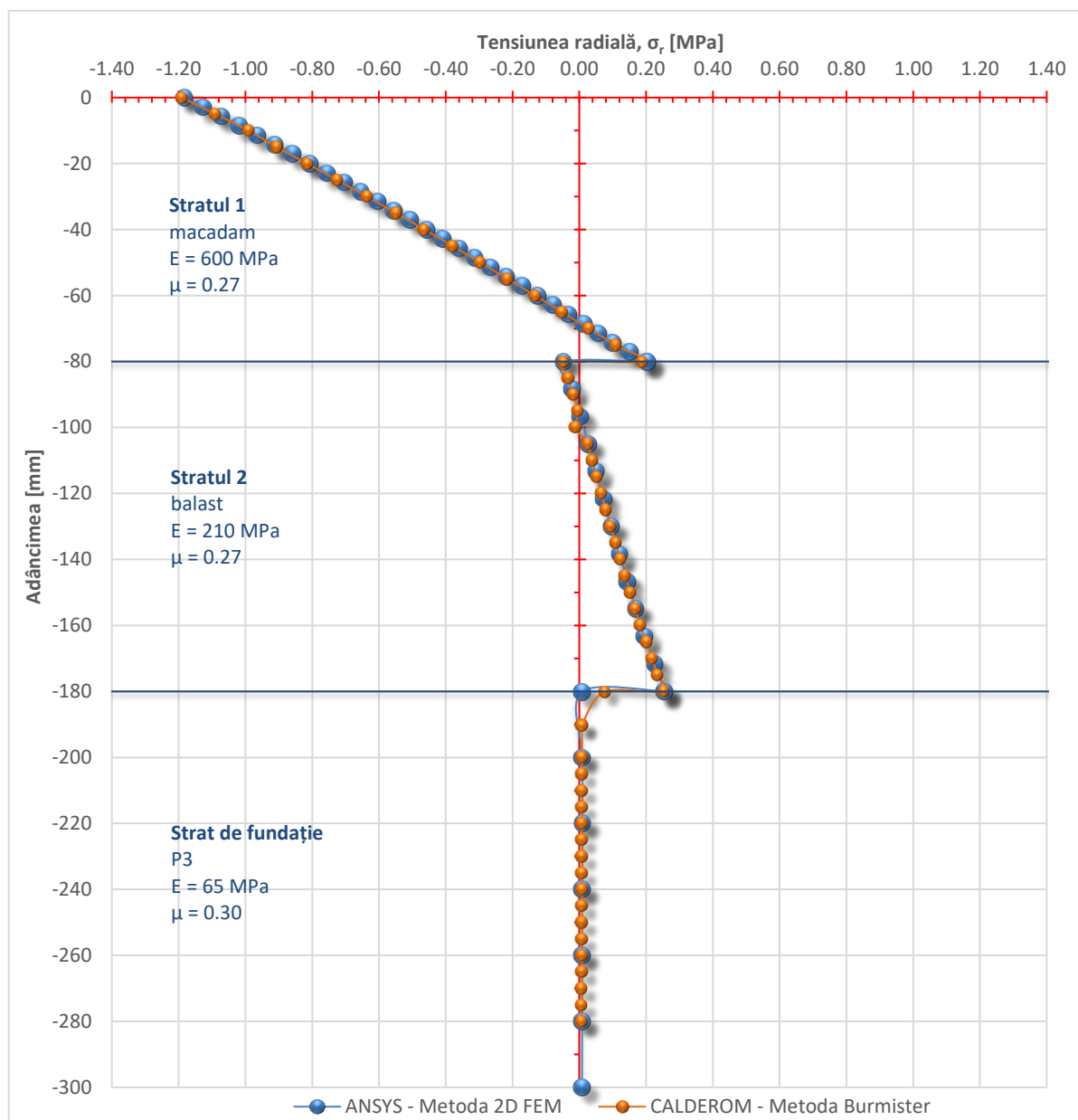


Figura 5.8. Variațiile tensiunilor radiale determinate prin metodele 2D FEM (propusă) și Burmister
Radial stresses variations determined using 2D FEM (proposed method) and Burmister method

Pentru obținerea situației comparative, ilustrate în Figura 5.8, s-au utilizat atât metoda 2D FEM, pentru calcularea valorilor tensiunilor radiale în 50 de puncte pe o adâncime de 280 mm, aferente structurii F4, rezultând o frecvență medie de o determinare la fiecare 5,60 mm, cât și metoda

Burmister pentru determinarea tensiunilor radiale în 55 de puncte, rezultând o frecvență medie de o determinare la 5,09 mm. Analizând rezultatele obținute cu ambele metode se constată că valorile tensiunilor radiale sunt similare pentru ambele cazuri. În acest context se poate menționa că metoda propusă 2D FEM este o metodă fiabilă în calculul eforturilor radiale ale structurilor rutiere. Ca particularitate, se observă eforturi relativ diferite în zona de contact ale stratului 2 cu stratul de fundație. Acest aspect este dat în principiu de faptul că discretizarea în soft-ul ANSYS™ a suferit optimizări în zona respectivă.

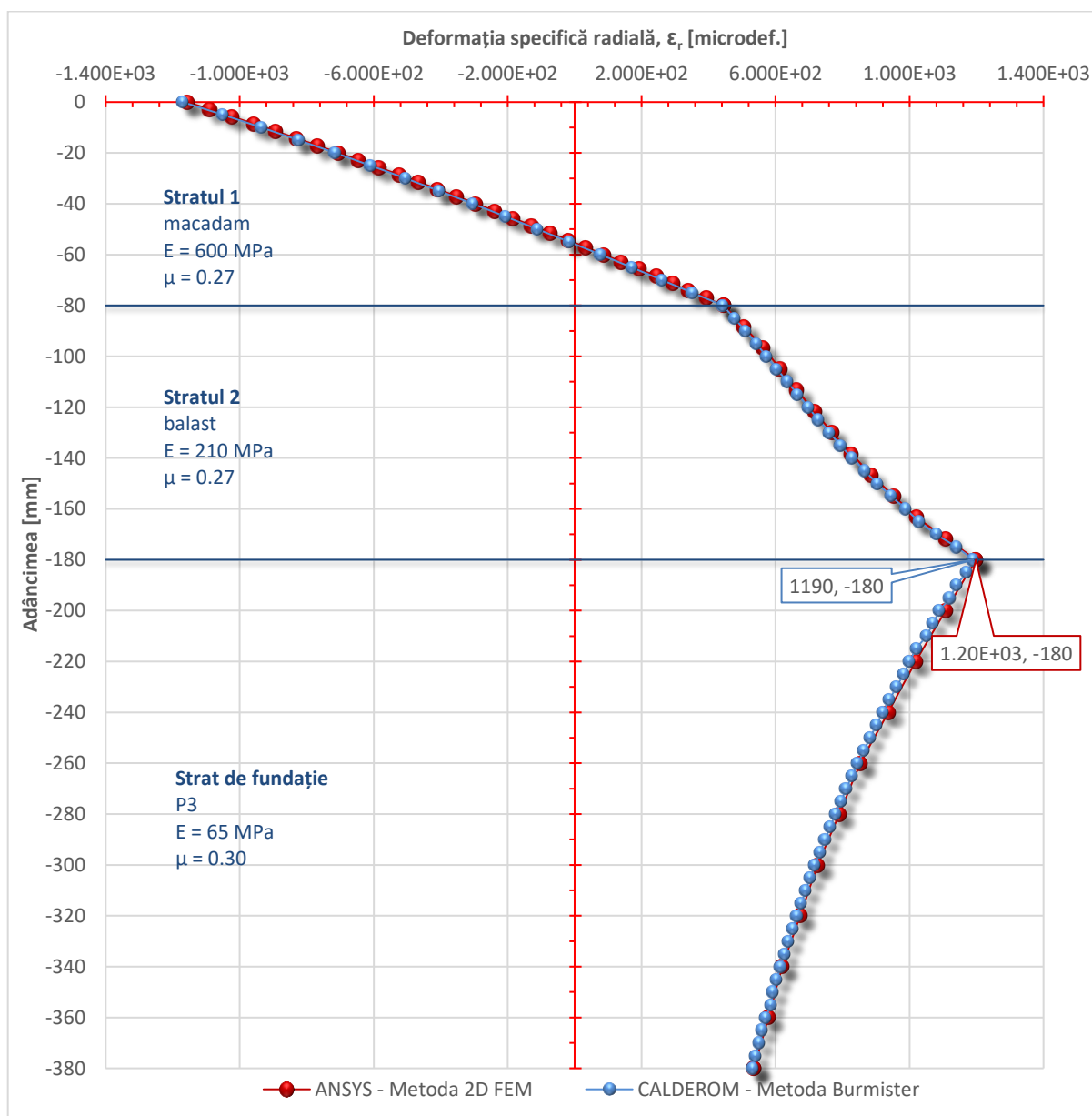


Figura 5.9. Variațiile deformațiilor specifice radiale determinate prin metodele ANSYS™ - 2D FEM (propusă) și CALDEROM 2000 - Burmister

The variations of radial strains determined using ANSYS™ - 2D FEM (proposed method) and CALDEROM 2000 - Burmister method

Rezultatele privind valorile deformațiilor specifice radiale, calculate cu aceleași frecvențe medii ca și în cazul tensiunilor radiale, sunt prezentate comparativ în Figura 5.9. Se observă acuratețea rezultatelor obținute prin intermediul metodei propuse 2D FEM.

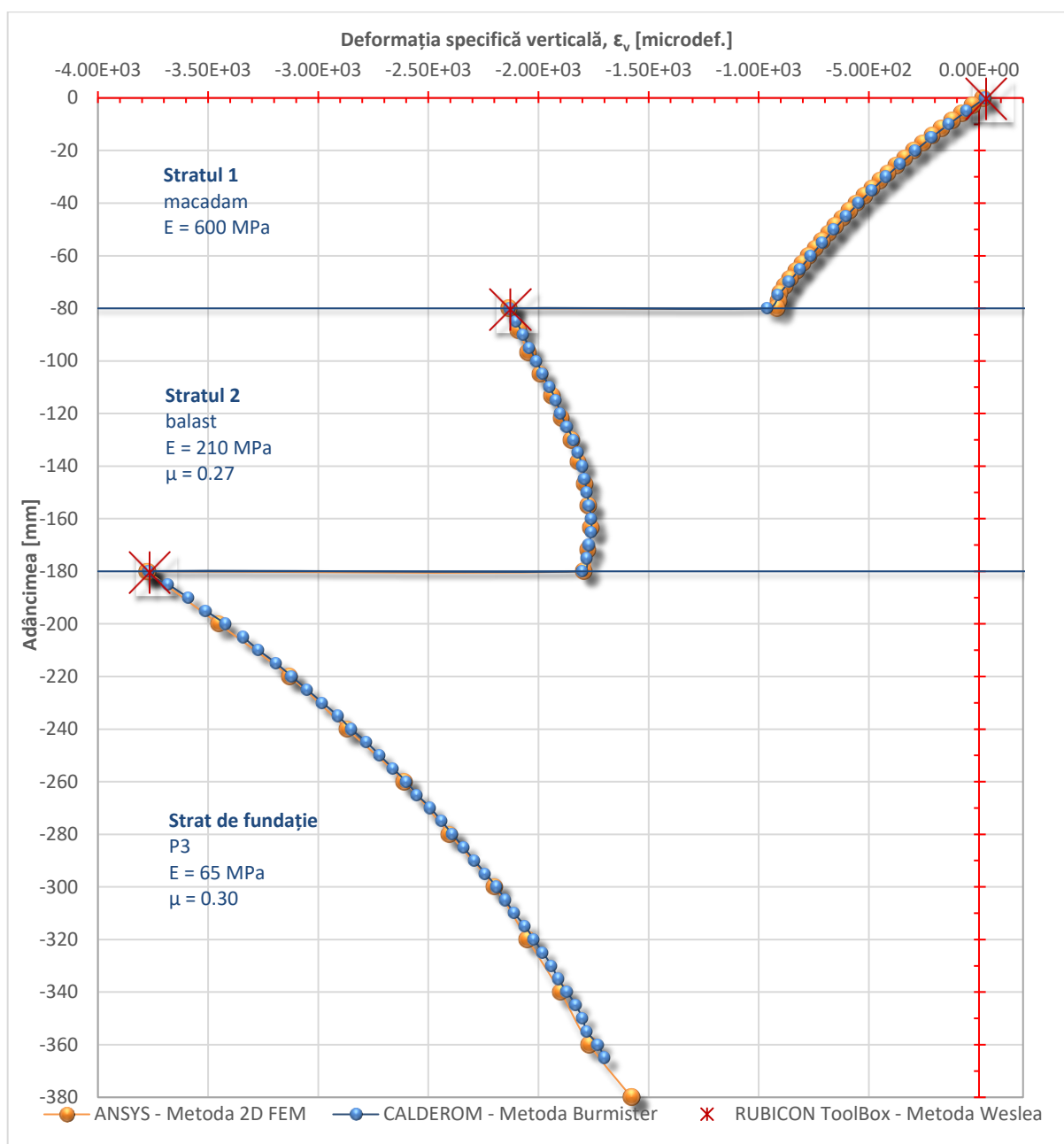


Figura 5.10. Variațiile deformațiilor specifice verticale determinate prin metodele ANSYS™ - 2D FEM (propusă), CALDEROM 2000 - Burmister și RUBICON

The variations of vertical strains determined using ANSYS™ - 2D FEM (proposed method), CALDEROM 2000 - Burmister method and RUBICON ToolBox - Weslea method

În general soft-urile de dimensionare a structurilor rutiere prevăd ca unele din cele mai importante rezultate valorile deformațiilor specifice ϵ_v , aferente cotei superioare a stratului suport (strat de fundare). Astfel, a treia etapă a validării metodei propuse 2D FEM este studiul comparativ privind deformațiile specifice ϵ_v , calculate cu soft-urile ANSYS™, CALDEROM™ și RUBICON™. Aceste rezultate sunt prezentate în Figura 5.10. După cum se observă, în cazul utilizării metodei 2D FEM, aceste determinări s-au realizat pe adâncimea de 380 mm cu o frecvență medie de o determinare la 6,09 mm, iar pentru metoda Burmister, pentru aceeași adâncime, frecvența medie de calcul este de o determinare la 4,27 mm.

5.2.2. Rezultate privind compatibilitatea structurilor caracteristice drumurilor forestiere (F1 - F7) cu structura rutieră tipică drumurilor naţionale (N1)

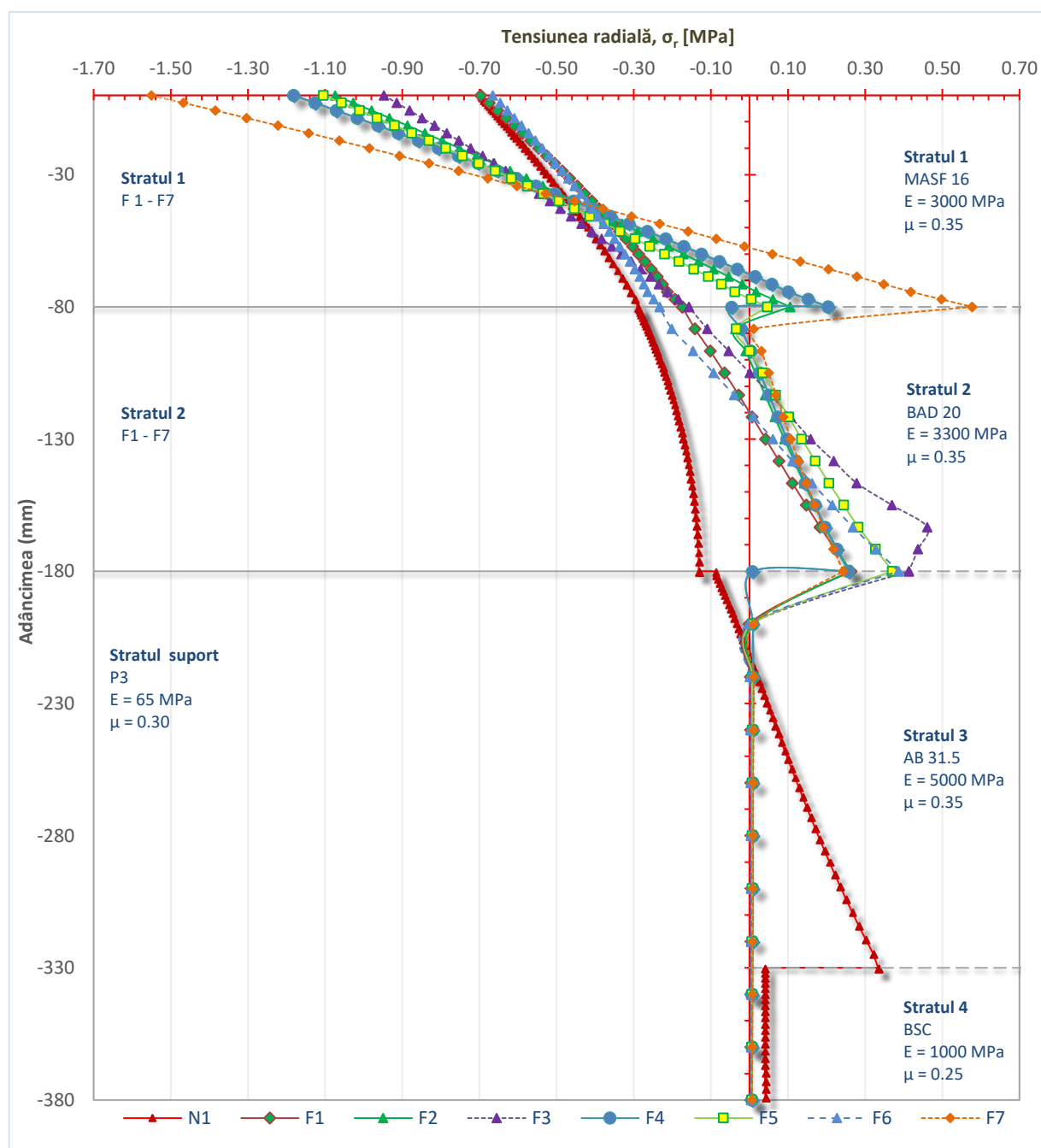


Figura 5.11. Variațiile tensiunilor radiale pentru structurile F 1 - 7 respectiv N1
The variations of the radial stresses for the structures F1 - 7 respectively N1

În Figura 5.11 se prezintă variația tensiunilor radiale pe adâncimea structurilor F 1 - 7 și N1. Se poate observa ordinea privind compatibilitățile structurilor forestiere comparativ cu structura rutieră, aferentă drumurilor naţionale. Aşadar, această ierarhie la nivelul contactului strat de fundație - strat suport este următoarea: N1 - F4 - F7 - F2 - F1 - F5 - F6 - F3. Se menţionează că în părțile laterale ale graficelor este prezentată stratificația aferentă celor două structuri rutiere ce formează rostul

joncțional drum forestier – drum național. Pentru structurile aferente drumurilor forestiere se evidențiază următoarea stratificație: *stratul 1*: F1 – F7, *stratul 2*: F1 – F7 și *stratul suport*: P3 .De asemenea pentru structura rutieră aferentă drumurilor naționale (N1) se remarcă stratificația: *stratul 1*: MASF 16, *stratul 2*: BAD 20, *stratul 3*: AB 31,5, *stratul 4*: BSC, *stratul 5*: Balast și *stratul suport*: P3. Aceste stratificații vor fi ilustrate în toate figurile ce reprezintă variația diverselor rezultate de calcul pe adâncimea structurilor rutiere, iar poziționarea lor stânga – dreapta are doar caracter schematic, fără a implica poziționări geometrice horizontale de o parte și alta a ordonatei graficului. În schimb aceste notații prezintă acuratețe în detalierea stratificației pe adâncimea structurilor rutiere studiate.

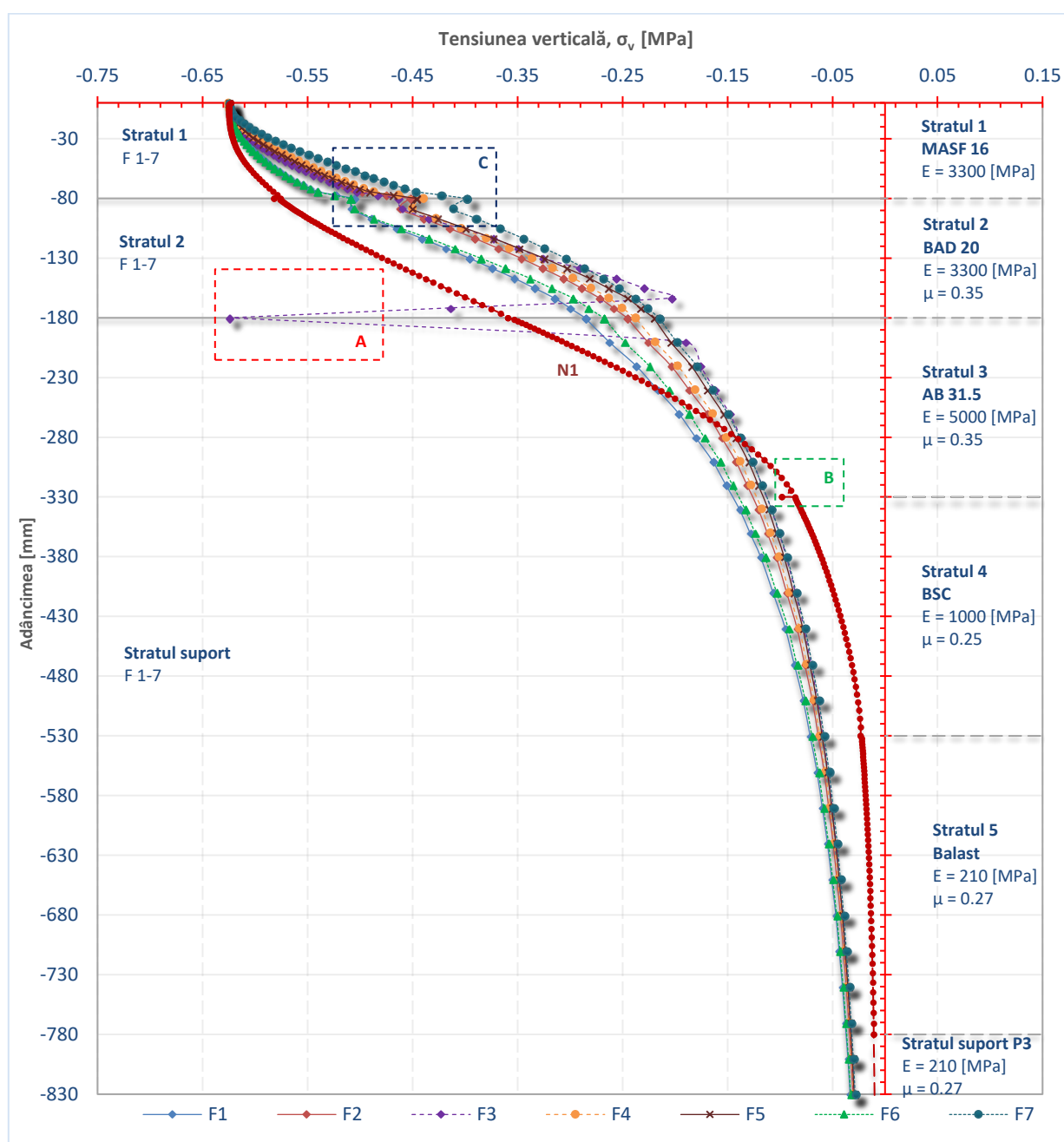


Figura 5.12. Variațiile tensiunilor verticale pentru structurile F 1 – 7 respectiv N1
The variations of the vertical stresses for the structures F1 - 7 respectively N1

Un alt criteriu important în evaluarea compatibilităţii structurilor rutiere, ce alcătuiesc un rost joncţional, este acela al variaţiei tensiunilor verticale în adâncimea acestora. Aşadar în Figura 5.12 se prezintă variaţia eforturilor verticale dezvoltate în adâncimea structurilor rutiere F1 – 7 respectiv N1. Pentru a facilita modul de interpretare al acestui grafic, se impune condiţia prin care se consideră că profilul tensiunilor verticale aferente N1 este profilul „ideal”. Astfel, pentru a realiza un rost joncţional cât mai performant din punct de vedere al compatibilităţii structurale, se consideră că profilul variaţiilor tensiunilor verticale trebuie să fie cât mai apropiat de cazul „ideal” aferent N1. Urmărind profilul N1 se constată că eforturile verticale, care evident sunt negative pe parcursul întregii structuri, se reduc pe adâncime apropiindu-se de valori nule. Similar, structurile rutiere forestiere realizează acest fenomen, dar se pare că transmit valori destul de mari în partea superioară a stratului suport. Comparativ cu drumurile naţionale, acest aspect conduce la degradări relativ timpurii la nivelul inferior al fundaţiei aferente drumurilor forestiere. Interesant este modul în care apare concentrarea de eforturi la cota -0,18 m (zona A, Figura 5.12), la nivelul zonei de contact fundaţie – strat suport, aferent structurii F3. Teoretic, această concentrare se dezvoltă datorită faptului că stratul superior (stratul 2 din piatră spartă 0/90) are caracteristici mecanice relativ crescute comparativ cu stratul suport, P3. Desigur, acest fenomen este amplificat şi de modul de optimizare a discretizării locale. Similar cu cele menţionate anterior, acest fenomen îşi face apariţia şi în zona B, aferentă structurii rutiere N1. Aceste concentrări de eforturi se evidenţiază şi în dreptul cotei - 0,08 m, zona C, aferente structurilor rutiere forestiere. Totuşi, analizând formele graficelor ce descriu variaţia eforturilor verticale, se poate menţiona că pe zona inferioară a straturilor de uzură, aferente drumurilor forestiere, se realizează o scădere a acestora. Acest fenomen are loc ca urmare a efectului de placă a stratului analizat şi al modului de repartiţie a eforturilor pe stratul inferior. Analizând variaţia eforturilor verticale în zona de contact strat de fundaţie – strat suport (zona A, Fig. 5.12), aferentă drumurilor forestiere, se poate menţiona că această reducere a eforturilor verticale este în strânsă legătură cu caracteristicile stratului inferior (în cazul de faţă stratul suport). Astfel, pentru structurile forestiere (excepţie făcând F3), variaţia eforturilor în zona A, Figura 5.12 este fără salturi bruşte.

Prin intermediul metodei 2D FEM s-au calculat valorile deformaţiilor specifice ε_r în adâncimea structurilor rutiere F1 – 7 respectiv N1. Deformaţiile specifice radiale ilustrează într-un mod elocvent starea de deformaţie a structurilor rutiere. Aşadar, prin analiza Figurii 5.13 se constată că variaţia deformaţiilor specifice ε_r este în strânsă legătură cu variaţia eforturilor verticale. Însă, spre deosebire de acestea din urmă, variaţia deformaţiilor ε_v nu prezintă salturi bruşte. Spre deosebire de structurile rutiere F1 - 7, variaţia deformaţiilor specifice aferente structurii rutiere N1 oscilează în imediata proximitate a ordonatei graficului. Ceea ce rezultă că, cu cât materialele componente ale unei structuri rutiere prezintă caracteristici mecanice ridicate, deformarea acestora este una relativ redusă. Evident, acest avantaj este prezent şi în cazul structurii N1.

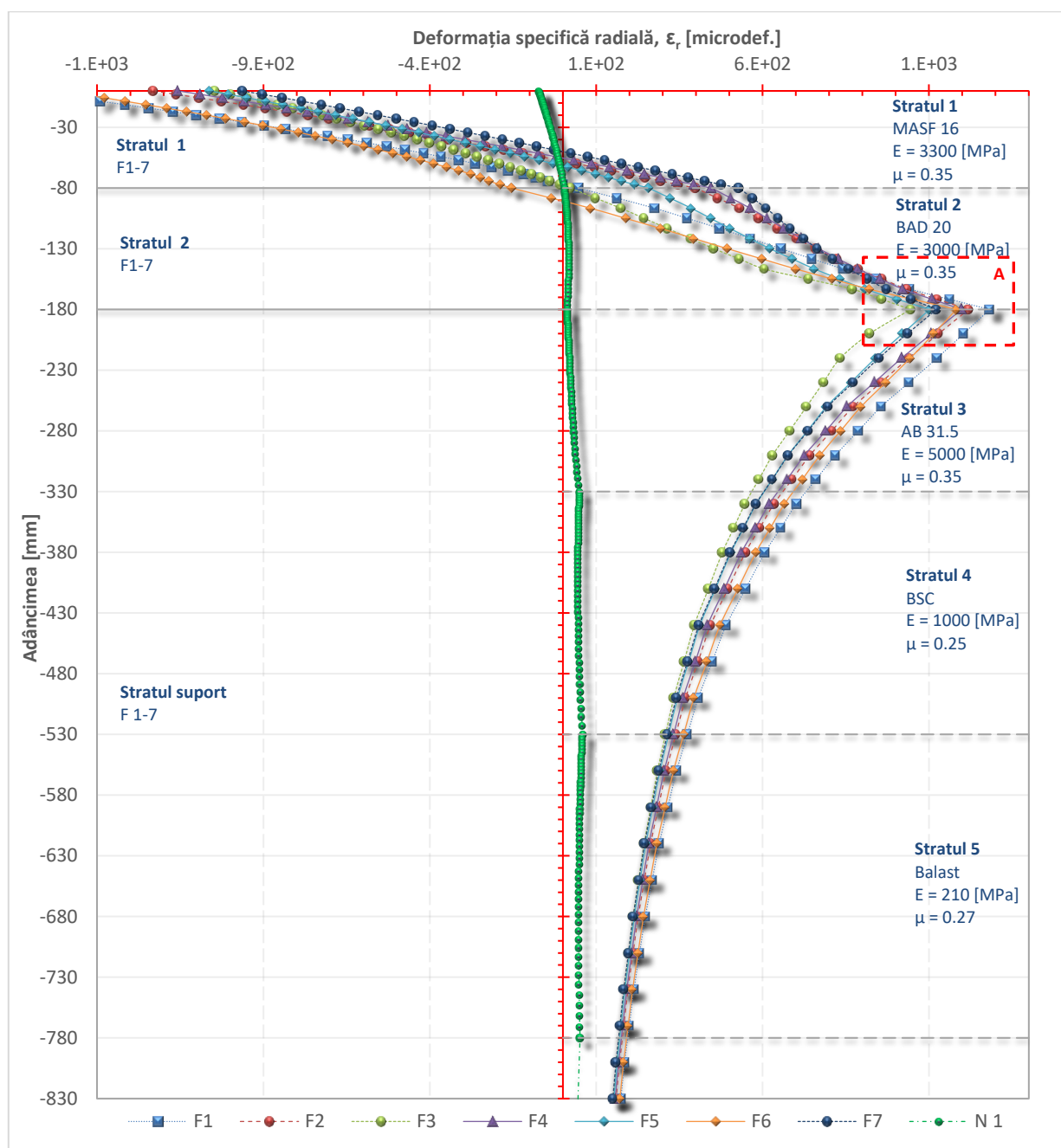


Figura 5.13. Variațiile deformațiilor specifice radiale pentru structurile F1 - 7 respectiv N1
The variations of the radial strains for the pavements F1 - 7 respectively N1

De asemenea, se observă că starea de deformare a stratului suport este relativ mai redusă în cazul structurilor rutiere ce aparțin drumurilor naționale. Analizând situația detaliată din Figura 5.13, se observă că profilurile privind variația deformațiilor specifice ϵ_r în adâncimea structurilor forestiere se suprapun începând cu cota $-0,83$ m.

Unul dintre cele mai apreciate criterii în dimensionarea structurilor rutiere la nivel național și internațional este valoarea deformației specifice verticale calculate la nivelul punctului de contact strat de fundație – strat suport. Așadar, acest aspect este introdus și în lucrarea de față pentru a determina compatibilitatea structurilor rutiere ce constituie un rost joncțional de tipul drum forestier – drum național. Figura 5.14 ilustrează modul de variație al valorilor deformațiilor specifice ϵ_v înregistrate pe adâncimea structurilor forestiere F1 - 7 respectiv N1.

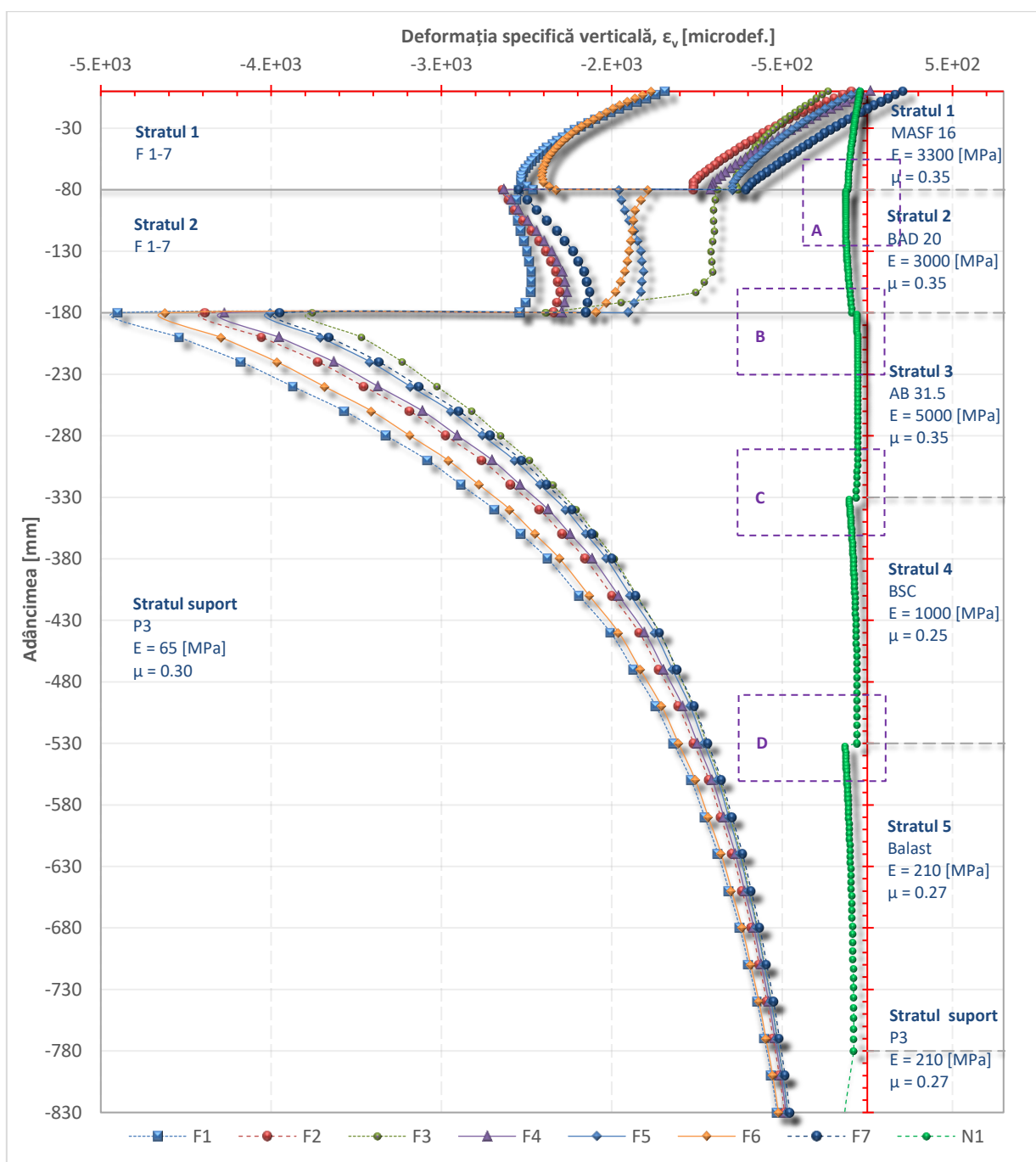


Figura 5.14. Variațiile deformațiilor specifice verticale pentru structurile F1 - 7 respectiv N1
The variations of the vertical strains for the pavements F1 - 7 respectively N1

După cum se observă în figura de mai sus, variația deformațiilor specifice verticale aferente structurii rutiere N1 este apropiată de axa ordonată a graficului și prezintă valori negative, care scad împreună cu creșterea adâncimii. Interesant este modul de variație al acestor valori în zonele de contact dintre straturi. Deși intuitiv este că un strat ce prezintă caracteristici mecanice relativ mai reduse va prezenta o deformare mai accentuată, acest grafic evidențiază și cuantifică acest aspect. Așadar, analizând variația deformațiilor specifice din zonele A, B, C și D aferente Figurii 5.14, se constată că în situația în care stratul superior este constituit din materiale ce prezintă caracteristici mecanice superioare stratului inferior (zonele A, C și D), valorile deformațiilor specifice ϵ_r scad la nivelul

superior al stratului secund. În caz contrar acestea prezintă un salt de creştere (Figura 14, zona B). Acest aspect este important şi pentru a evidenţia acurateţea metodei de calcul.

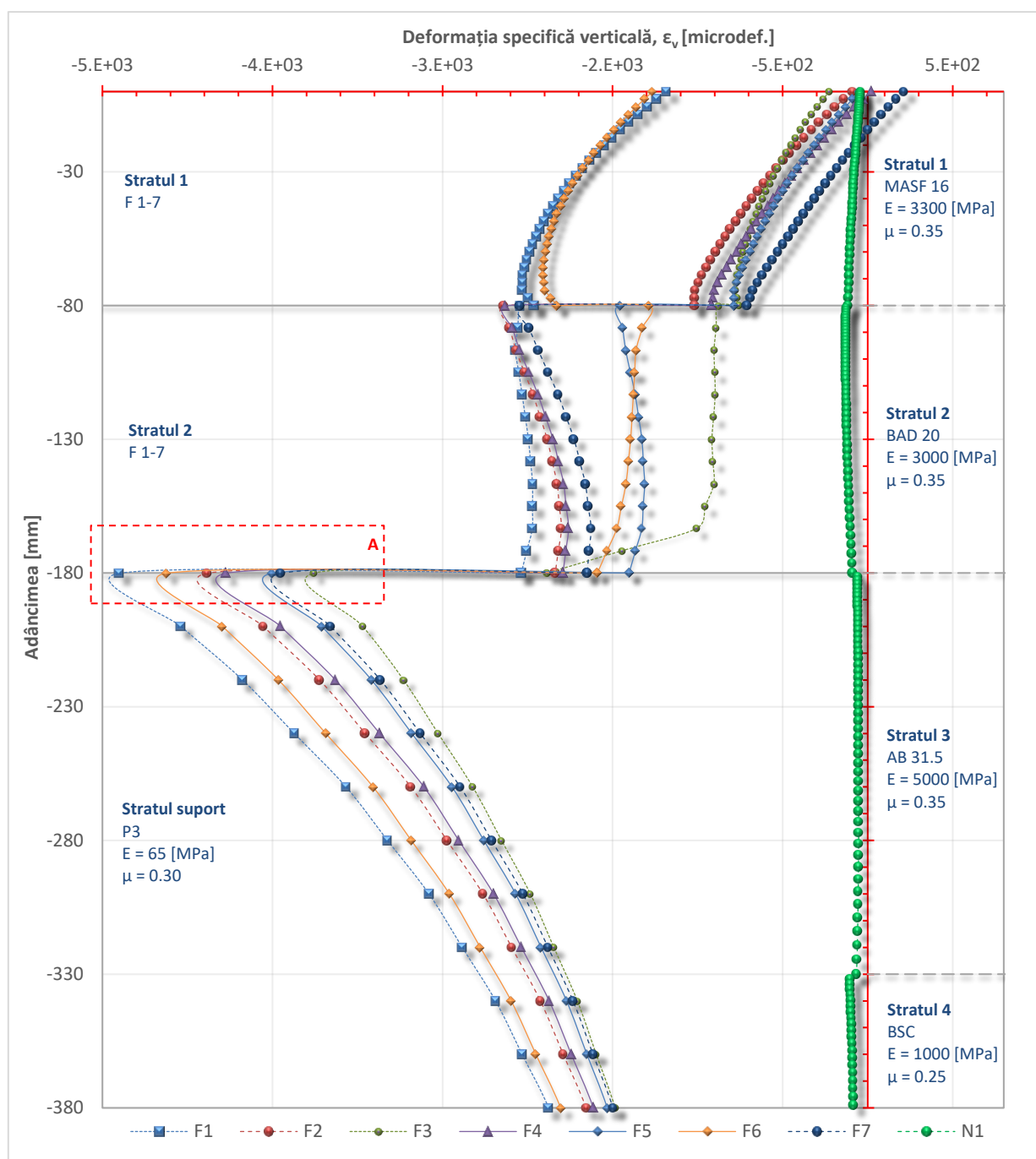


Figura 5.15. Variațiile deformațiilor specifice verticale pentru structurile F1 - 7 respectiv N1. Situație detaliată
The variations of the vertical strains for the structures F1 - 7 and N1

Având în vedere valorile deformațiilor specifice verticale dezvoltate la nivelul superior al stratului suport, se întocmește următorul clasament în ordine descrescătoare: N1 - F3 - F7 - F5 - F2 - F6 - F1. Această ordine este evidențiată în Figura 5.15, zona A.

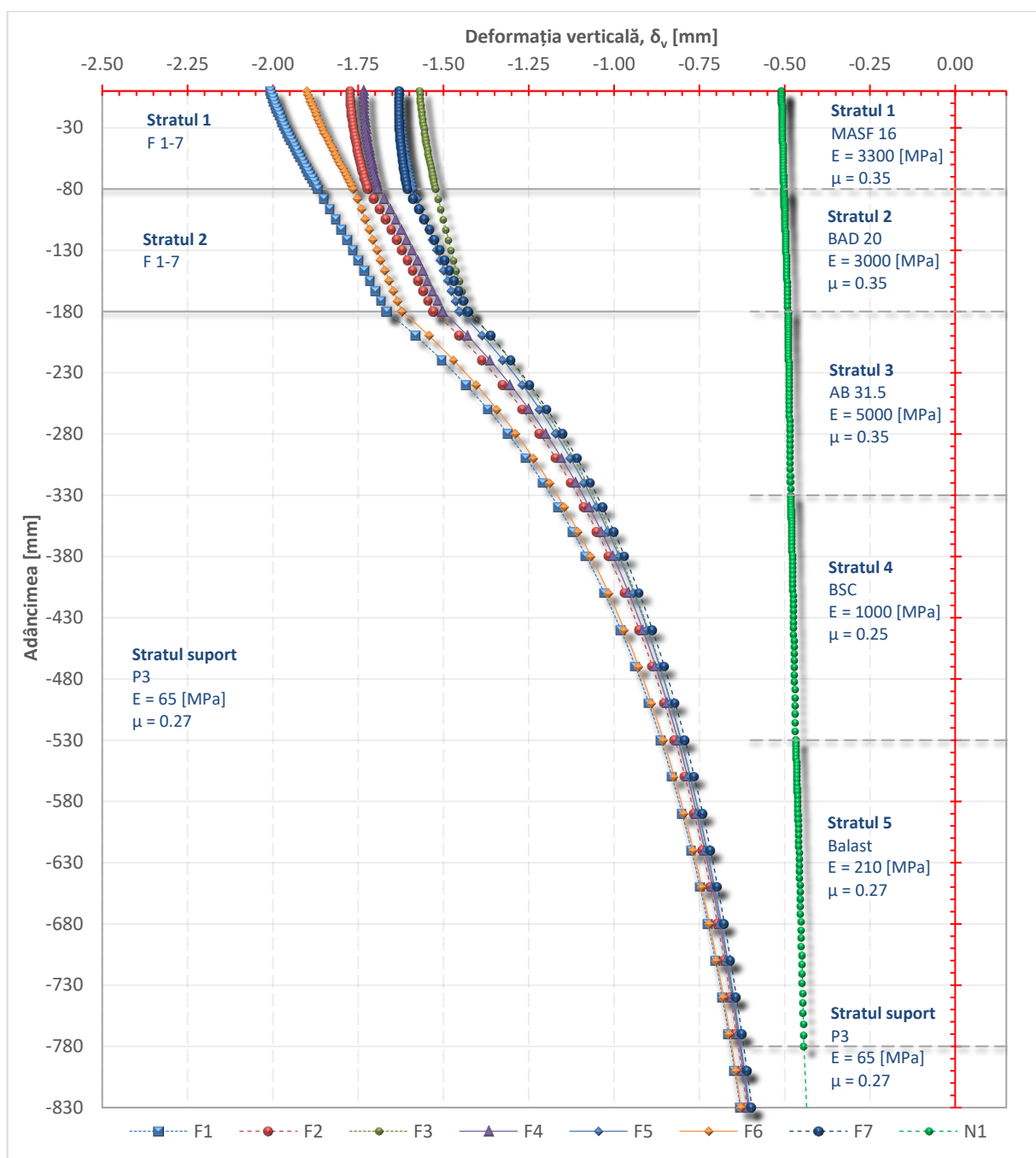


Figura 5.16. Variațiile deformațiilor verticale pentru structurile F1 - 7 respectiv N1
The variations of the vertical deformations for the structures F1 - 7 respectively N1

După cum s-a menționat anterior, poate cel mai important factor în determinarea compatibilității structurilor rutiere ce constituie un rost joncțional, este prezentat de deplasările verticale ale structurilor aflate sub încărcarea dată de vehicule. Așadar, în Figura 5.16 se evidențiază modul de variație al deformațiilor verticale pe adâncimea structurilor rutiere ce fac subiectul prezentei analize. Profilul privind deformațiile verticale aferente structurii etalon N1 prezintă o variație de scădere, relativ liniară, astfel că la nivelul superior al stratului de uzură se înregistrează o deplasare maximă de -0,50782 mm, iar la cota -770,79 mm se înregistrează o tasare verticală în valoare de - 0,44399 mm. Acest fapt se datorează cu precădere faptului că structura rutieră N1 realizează o consolidare apreciabilă, fără diferențe prea mari între valorile modului de elasticitate aferent straturilor

rutiere. În schimb, variația deplasărilor verticale aferente drumurilor forestiere prezintă grafice a căror geometrie este influențată în mod direct de componența straturilor aferente. Practic, în cazul în care materialul aferent unui strat rutier prezintă caracteristici mecanice relativ ridicate, profilul deplasărilor verticale prezintă o verticalitate mai accentuată.

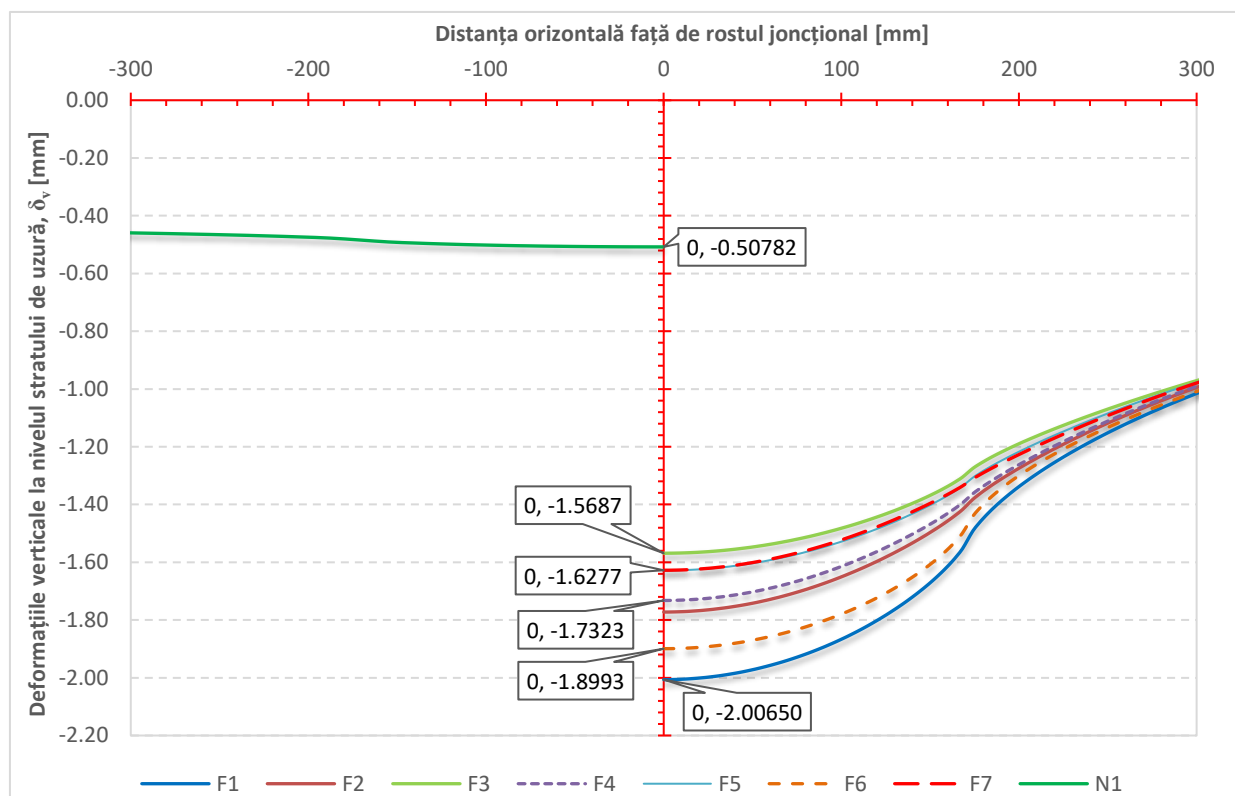


Figura 5.17. Variațiile deformațiilor verticale pentru straturile de uzură aferente structurilor F1 - 7 respectiv N1. Situație detaliată

The variations of vertical deformations for the surface layer of pavements F1 - 7 and N1. Detailed situation

Un alt mod de analiză și interpretare a deformațiilor verticale este cel prin care se determină deformațiile verticale aferente straturilor de uzură pentru structurile rutiere F1- 7 respectiv N1. Acest aspect este reprezentat cu succes în Figura 5.17. După cum se observă profilul deformațiilor verticale al stratului de uzură, aferent structurii rutiere N1, este reprezentat în partea stângă a rostului joncțional, iar în partea dreaptă sunt reprezentate muchiile superioare deformate ale straturilor de uzură F1 - 7. Dintre structurile rutiere F1 - 7, structura F3 înregistrează tasarea cea mai redusă în valoare de -1,5687 mm. Se pare că F1 este structura rutieră cu cea mai mare deplasare verticală (2,0065 mm). Un alt aspect ce reiese din figura de mai sus este modul de scădere a deformațiilor verticale odată cu îndepărtarea de zona încărcată. Fapt pentru care la o distanță de aproximativ 300 mm profilele deplasărilor verticale tind să se suprapună (a se vedea Figura 5.19). Atât în cazul structurii rutiere N1 cât și în cazul structurilor F1 -7 se poate observa influența pe care o are amprenta anvelopei asupra modului de deformație a straturilor rutiere. Având în vedere faptul că modelul de calcul este unul axial simetric și raza de aplicare a presiunilor date de anvelopă este

171,10 mm, se poate observa modul de creştere a deformaţiilor verticale în zona razei de aplicare a sarcinii provenite de la osia standard O.S. 115. Acest fenomen se accentuează în cazul structurilor ce prezintă o capacitate portantă mai redusă (de exemplu F1).

În Figura 5.18 sunt reprezentate modurile de deformare a straturilor suport aferente structurilor rutiere studiate. Evident, graficele privind deformaţiile straturilor de fundare sunt influenţate în mod direct de modul de deformare a straturilor de uzură. Aşadar, structura F3 realizează cea mai redusă tasare (-1,4263 mm) dintre structurile F1 – 7. De asemenea, structura rutieră F1 prezintă cea mai mare tasare (-1,6641 mm).

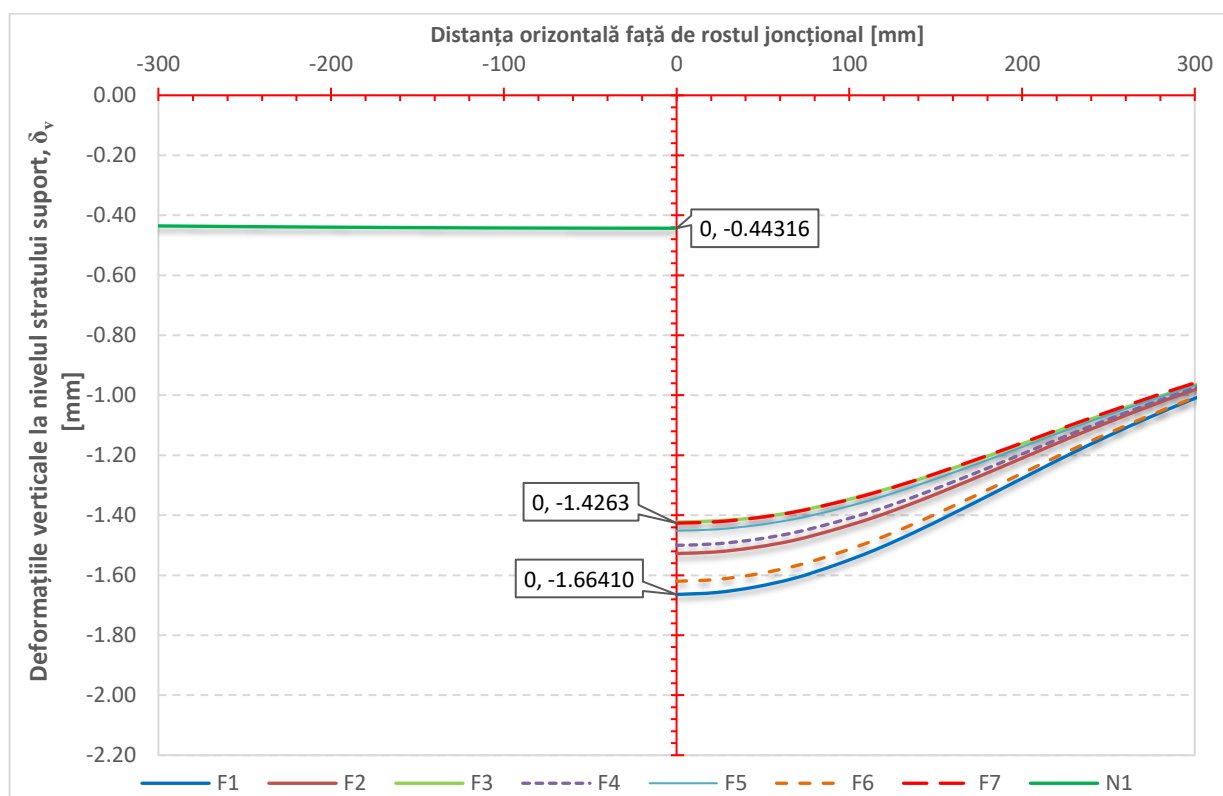


Figura 5.18. Variaţiile deformaţiilor verticale pentru straturile suport aferente structurilor F 1 – 7 respectiv N1. Situaţie detaliată

The variations of vertical deformations for the subgrade layers corresponding to the structures F1 - 7 respectively N1. Detailed situation

În figura de mai sus se evidenţiază modul de tasare al stratului suport aferent structurii rutiere N1. Structurile rutiere ce aparţin drumurilor forestiere prezintă o creştere a deplasărilor verticale odată cu apropierea de rostul joncţional. Acest aspect se evidenţiază şi în Figura 5.20.

Un alt aspect ce reiese din figura de mai sus este că profilurile graficelor privind deplasările verticale converg după distanţa de 300 mm faţă de rostul joncţional. Aproximativ această valoare poate fi asimilată cu dublul razei suprafeţei de contact pneu – carosabil. De asemenea, acest mod de suprapunere a graficelor este evidenţiat şi în Figura 5.20.

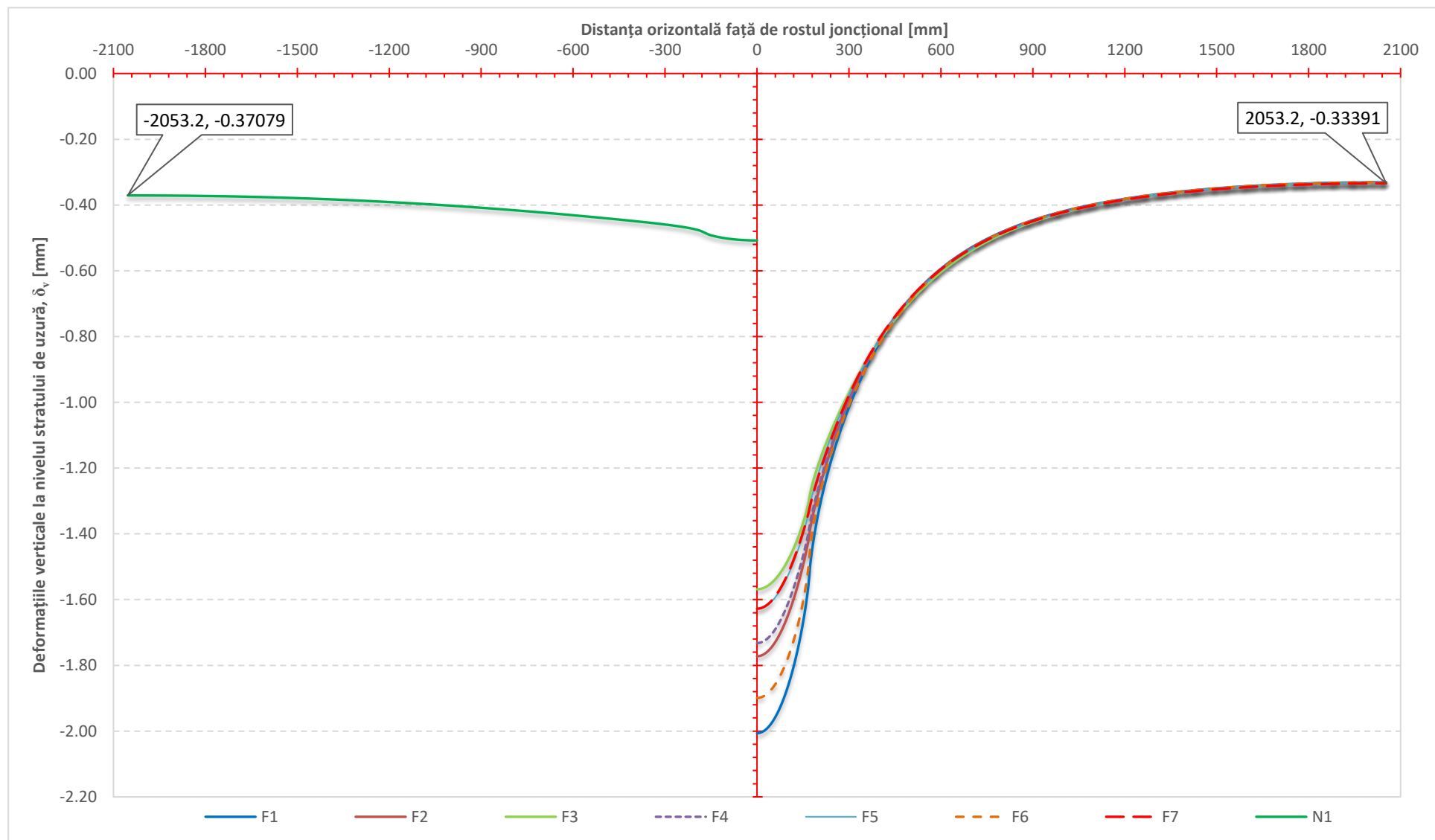


Figura 5.19. Variațiile deformațiilor verticale pentru straturile de uzură aferente structurilor F1 – 7 respectiv N1
The variations of vertical deformations for the surface layers of the structures F1 - 7 respectively N1

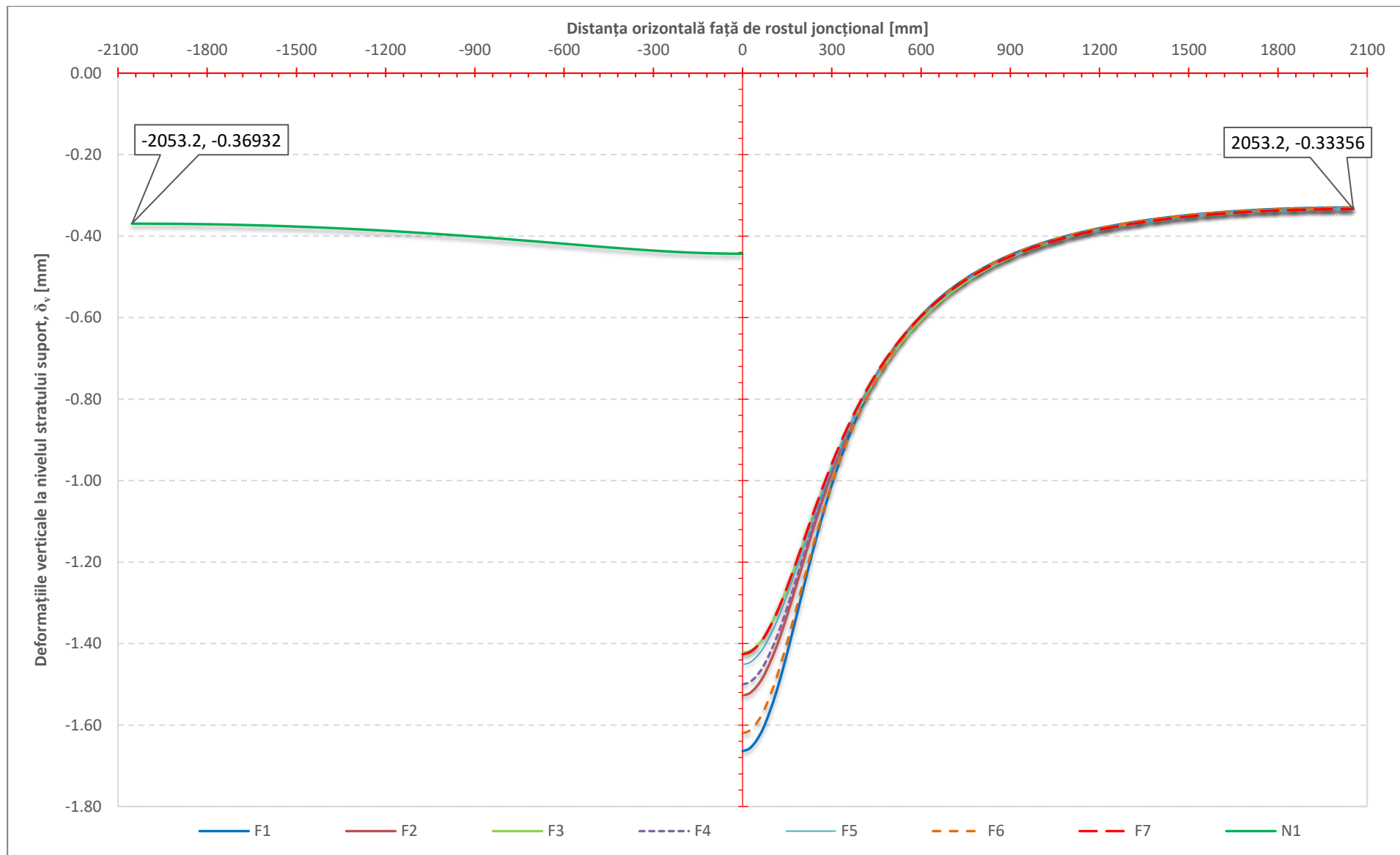


Figura 5.20. Variațiile deformațiilor verticale pentru straturile de uzură aferente structurilor F1 – 7 respectiv N1
The variations of the vertical deformations for the surface layers of the structures F1 - 7 and N1

Având în vedere că modelul geometric supus calculului 2D FEM prezintă o lăţime de 2,0532 m se observă că aplicarea sarcinii verticale, date de osia standard, se resimte la o distanţă mai mare de valoarea acestei lăţimi. Interesant este faptul că tasările verticale aferente atât straturilor de uzură cât şi straturilor suport, calculate la extremităţile orizontale ale rostului joncţional, sunt mai mari în cazul structurii rutiere N1 comparativ cu structurile rutiere F1 – 7. Acest aspect este concludent în Figurile 5.19 respectiv 5.20. Motivul acestui fapt este acela că straturile rutiere aferente N1 sunt constituite din materiale care repartizează sarcinile verticale într-un mod relativ uniform către straturile inferioare.

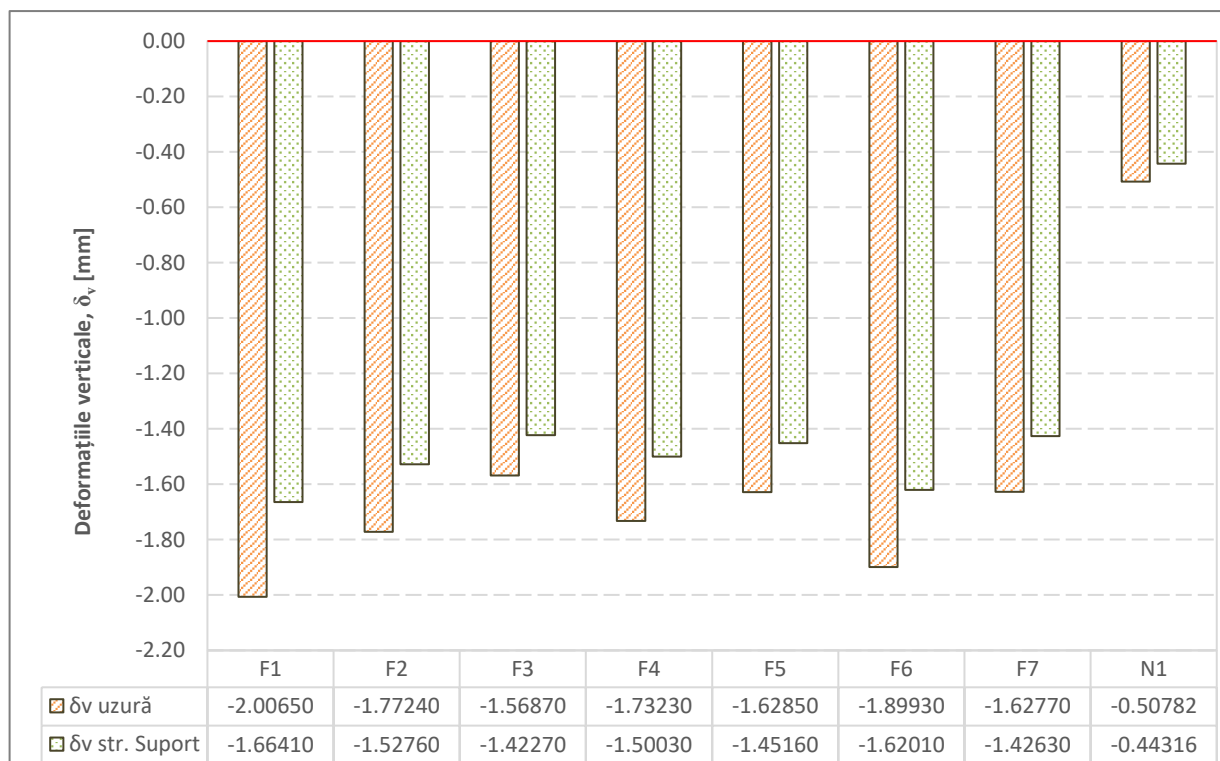


Figura 5.21. Deformaţiile verticale pentru straturile suport şi de uzură aferente structurilor F1 – 7 respectiv N1
The vertical deformations for the subgrade and surface layers related to the structures F1 - 7 respectively N1

În Figura 5.21 şi 5.23 se observă valorile deformaţiilor verticale calculate la nivelul superior al stratului de uzură. Astfel se evidenţiază diferenţa relativ mare dintre tasările înregistrate de structurile rutiere F1 – 7 şi cele obţinute în cazul structurii rutiere N1. Media aritmetică a tasărilor straturilor de uzură aferente structurilor rutiere F1- 7 este de aproximativ – 1,75 mm, iar media tasărilor verticale pentru stratul suport este de aproximativ – 0,83 mm.

Compatibilitatea deformaţiilor verticale, aferente rosturilor joncţionale drum forestier – drum naţional, este una dintre cele mai importante caracteristici privind lucrabilitatea rostului respectiv. Fapt pentru care în Figura 5.22 se cuantifică procentual această caracteristică pentru rosturile joncţionale formate de structurile F1- 7 cu N1. Rostul joncţional F3 – N1 prezintă o compatibilitate a tasărilor verticale la nivelul stratului de uzură de doar 32,37%, respectiv, 31,15% pentru tasările aferente stratului suport. O compatibilitate mult mai redusă prezintă rostul F4.- N1.

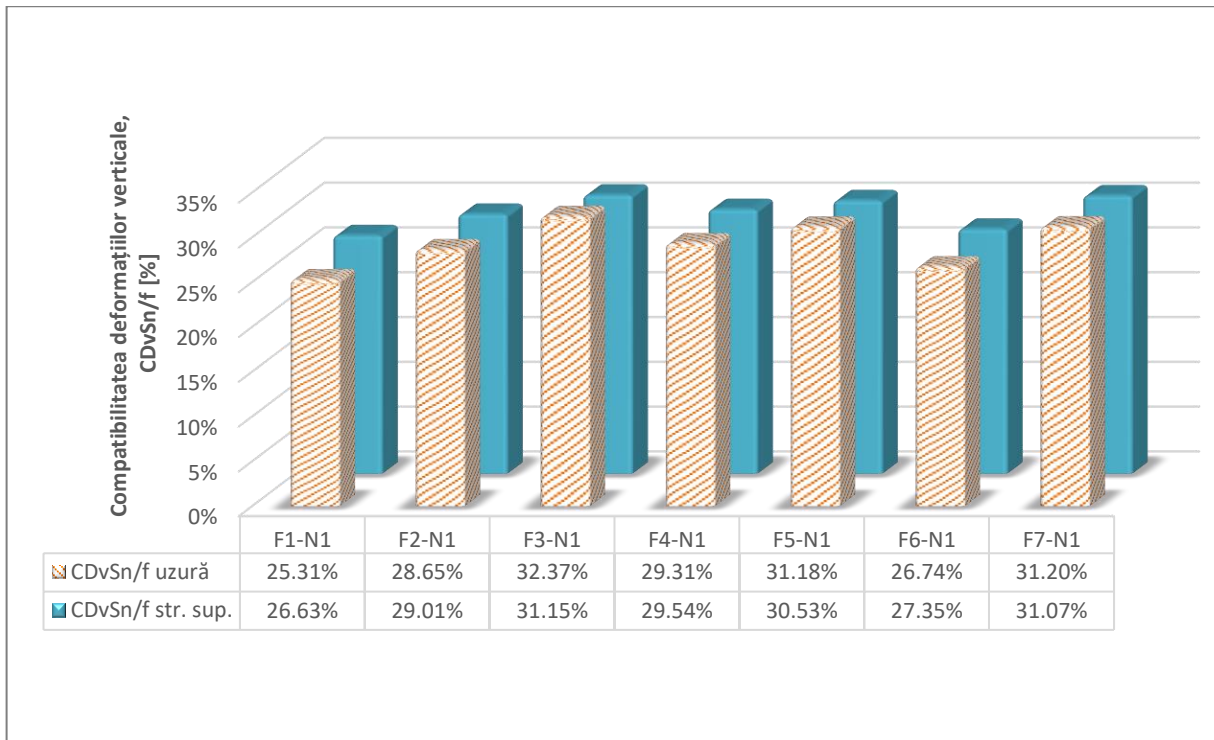


Figura 5.22. Compatibilitatea deformațiilor verticale pentru straturile de uzură respectiv straturile suport aferente rosturilor joncționale F1-N1, F2-N1, F3-N1, F4-N1, F5-N1, F6-N1 și F7-N1

The compatibility of the vertical deformations calculated of surface and subgrade layers for pavements joints F1-N1, F2-N1, F3-N1, F4-N1, F5-N1, F6-N1 and F7-N1

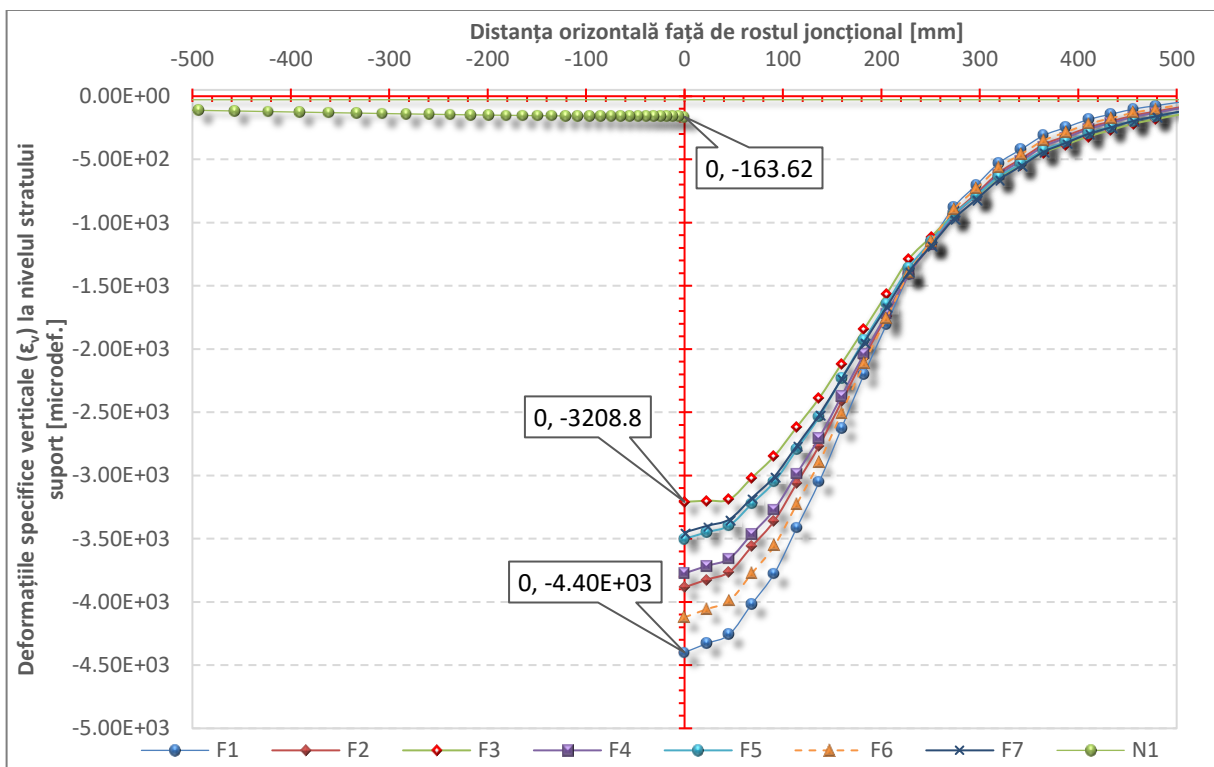


Figura 5.23. Variațiile deformațiilor specifice verticale aferente F 1 – 7 respectiv N1 calculate la nivelul superior al stratului suport

The variations of vertical strains calculated for surface layers of pavements F1 - 7 respectively N1

Valorile compatibilităților ilustrate în Figura 5.24 sunt relativ reduse. Așadar, se impune soluționarea acestor aspecte negative prin diverse metode de consolidare a structurilor rutiere aferente

drumurilor forestiere. Astfel, în subcapitolele ulterioare a prezentei lucrări se vor prezenta diverse soluții prin care se dorește eliminarea acestor deficiențe.

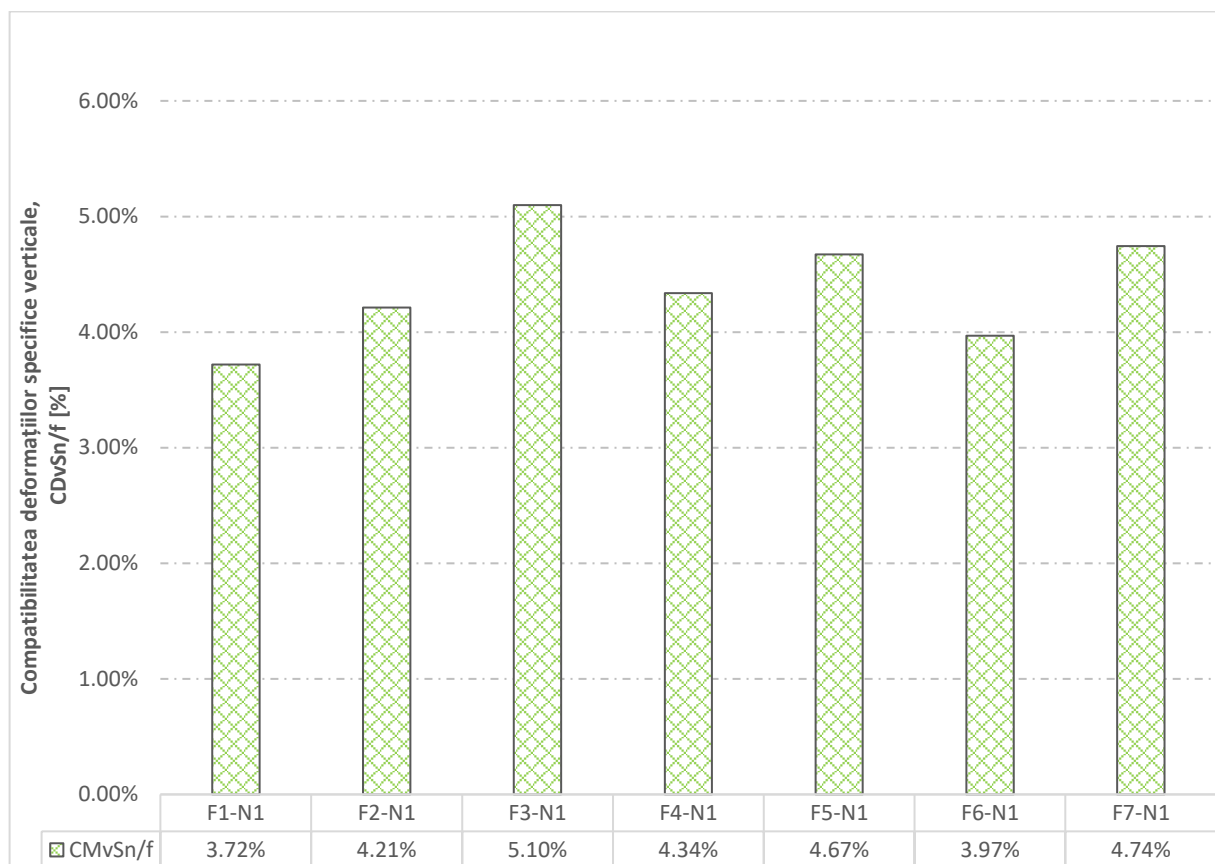


Figura 5.24. Compatibilitatea deformațiilor specifice verticale calculate la nivelul straturilor suport pentru rosturile jonționale F3-N1, F2-N1, F3-N1, F4-N1, F5-N1, F6-N1 și F7-N1

The compatibility of the vertical strains for subgrade layers of pavements joints F1-N1, F2-N1, F3-N1, F4-N1, F5-N1, F6-N1 and F7-N1

Figurile 5.25 și 5.26 evidențiază următoarele aspecte principale:

- forma graficelor reprezentând deformațiile specifice verticale calculate la nivelul stratului suport este similară cu cea a graficelor reprezentând presiunile verticale calculate la același nivel. Acest aspect demonstrează modul de relaționare dintre cele două criterii de calcul și devine evident atunci când materialele ce constituie o structură rutieră prezintă un comportament elastic.
- atât presiunile verticale înregistrate la punctele extreme ale rostului jonțional cât și deformațiile specifice verticale calculate în aceleași puncte prezintă valori mai reduse în cazul structurilor rutiere ce aparțin drumurilor forestiere comparativ cu structura N1. De asemenea, acest fenomen apare ca urmare a dezvoltării în structura rutieră N1 a unei bune repartiții a eforturilor verticale de la un strat superior la un strat inferior adiacent;
- distribuția deformațiilor verticale în planul vertical al structurilor rutiere F1 - 7 prezintă o concentrare a valorilor mai mari în zona de rost comparativ cu distribuția deformațiilor aferente N1.

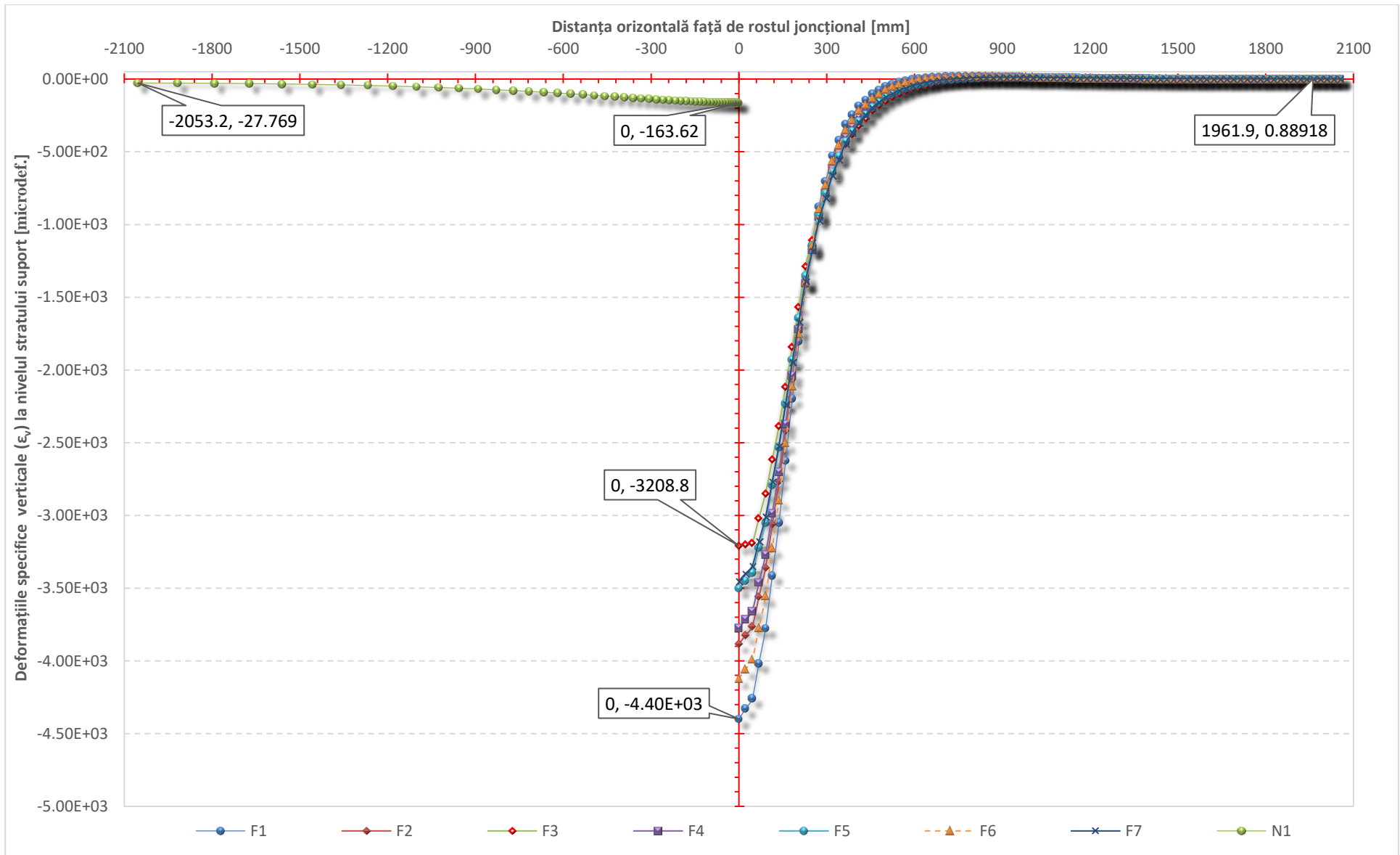


Figura 5.25. Deformațiile specifice verticale calculate la nivelul straturilor de uzură și suport aferente F1 - 7 respectiv N1
The vertical strains calculated for the surface and support layers F1 - 7 respectively N1

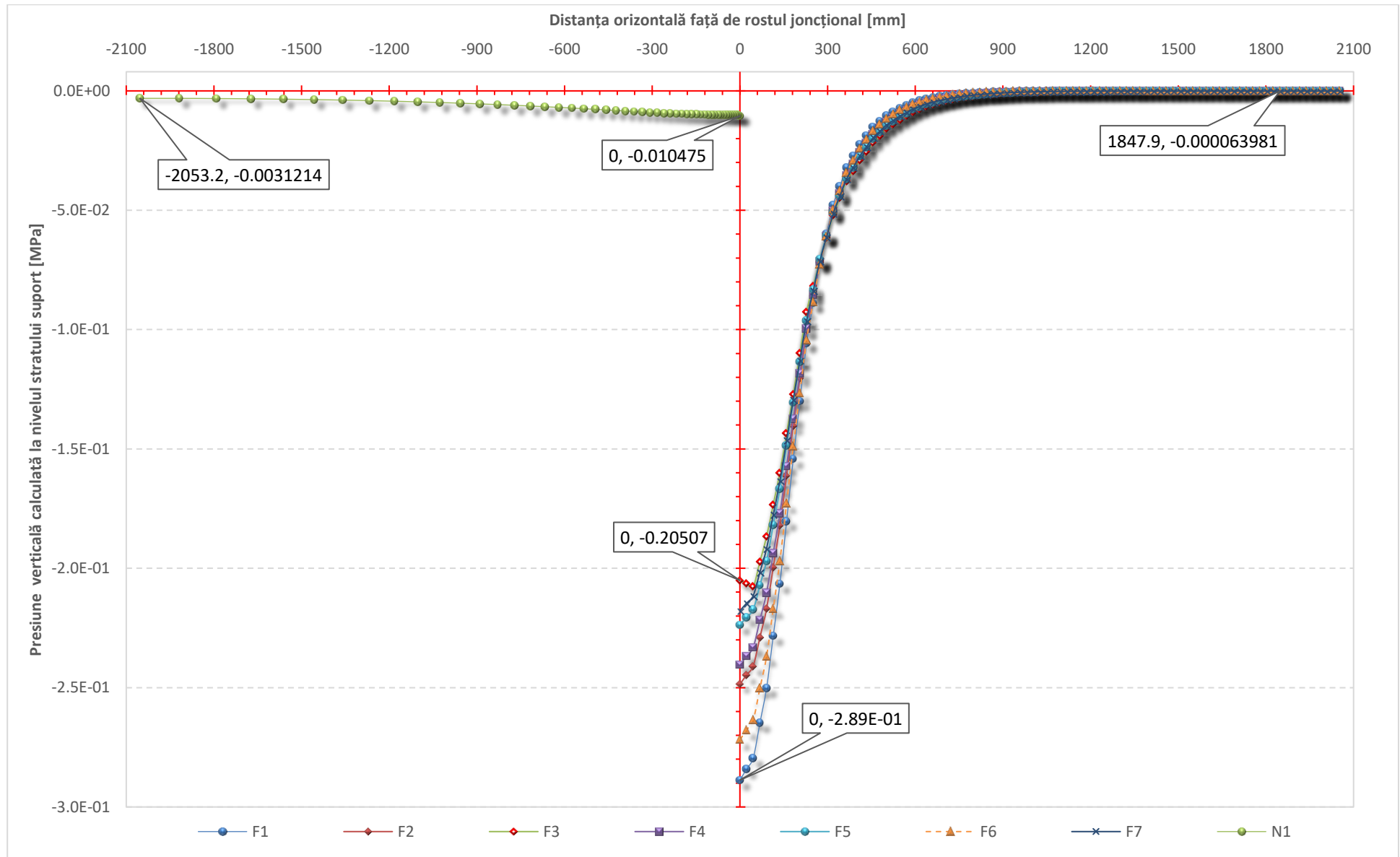


Figura 5.26. Variațiile presiunilor verticale calculate la nivelul straturilor suport aferente F1 – 7 respectiv N1
The variations of the vertical pressure for the subgrade layers of pavements: F1 - 7 and N1

5.2.3. Rezultate privind compatibilitatea rosturilor joncţionale la care structura rutieră forestieră împrumută straturile de îmbrăcăminte de la structura aferentă drumurilor naţionale (soluţiile S1 şi S2)

În Figura 5.27 se observă valorile deformaţiilor verticale înregistrate de structurile rutiere F4, S1, S2 şi N1. Prin determinarea procentuală a compatibilităţilor soluţiilor S1 respectiv S2, se evidenţiază modul în care cele două soluţii asigură consolidarea structurii iniţiale F4. Acest aspect este evidenţiat în Figura 5.28 şi se pare că soluţia S1 aduce un aport de compatibilitate a deformaţiilor verticale (aferele straturilor de uzură), comparativ cu rostul F4 - N1, de 7,60%, iar S2 contribuie cu un plus de 25,25%.

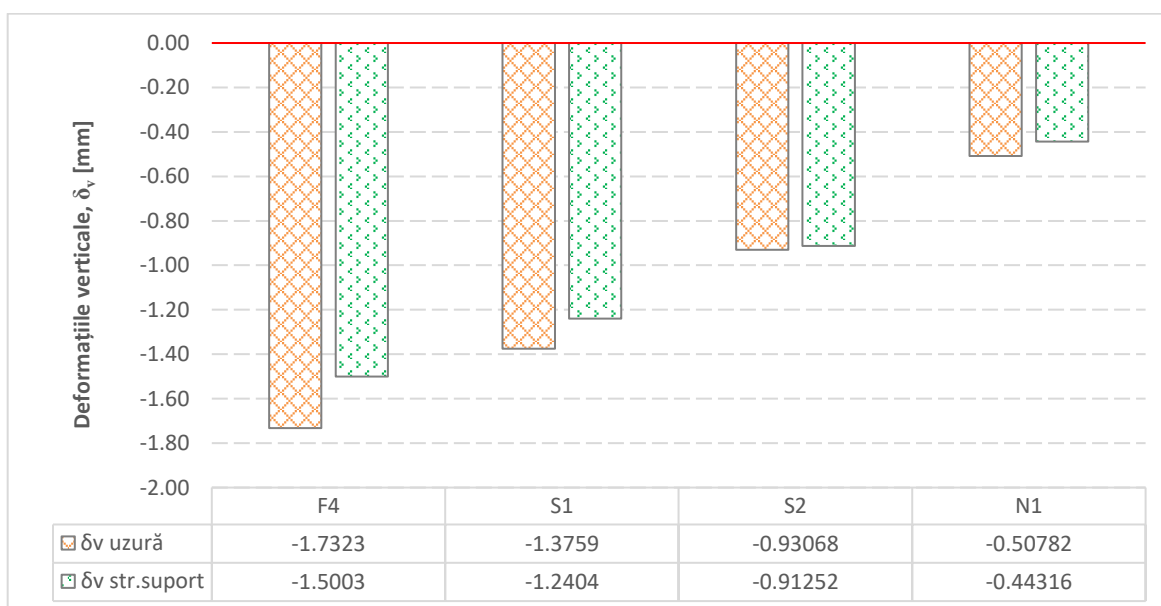


Figura 5.27. Deformaţiile verticale aferente straturilor de uzură pentru F4, N1 şi S1 respectiv S2
The vertical deformations for the surface layers of pavements F4, N1, S1 and S2

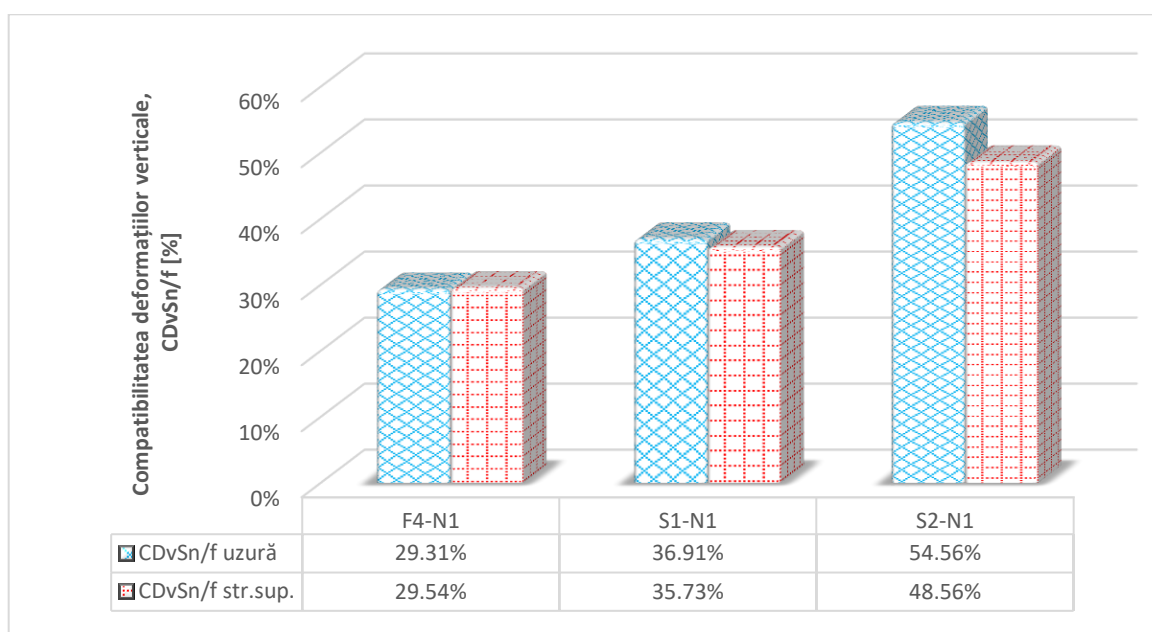


Figura 5.28. Compatibilitatea deformaţiilor verticale pentru rosturile joncţionale F4 - N1, S1 - N1 şi S2 - N1
The compatibility of vertical deformations for junction joints F4 - N1, S1 - N1 and S2 - N1

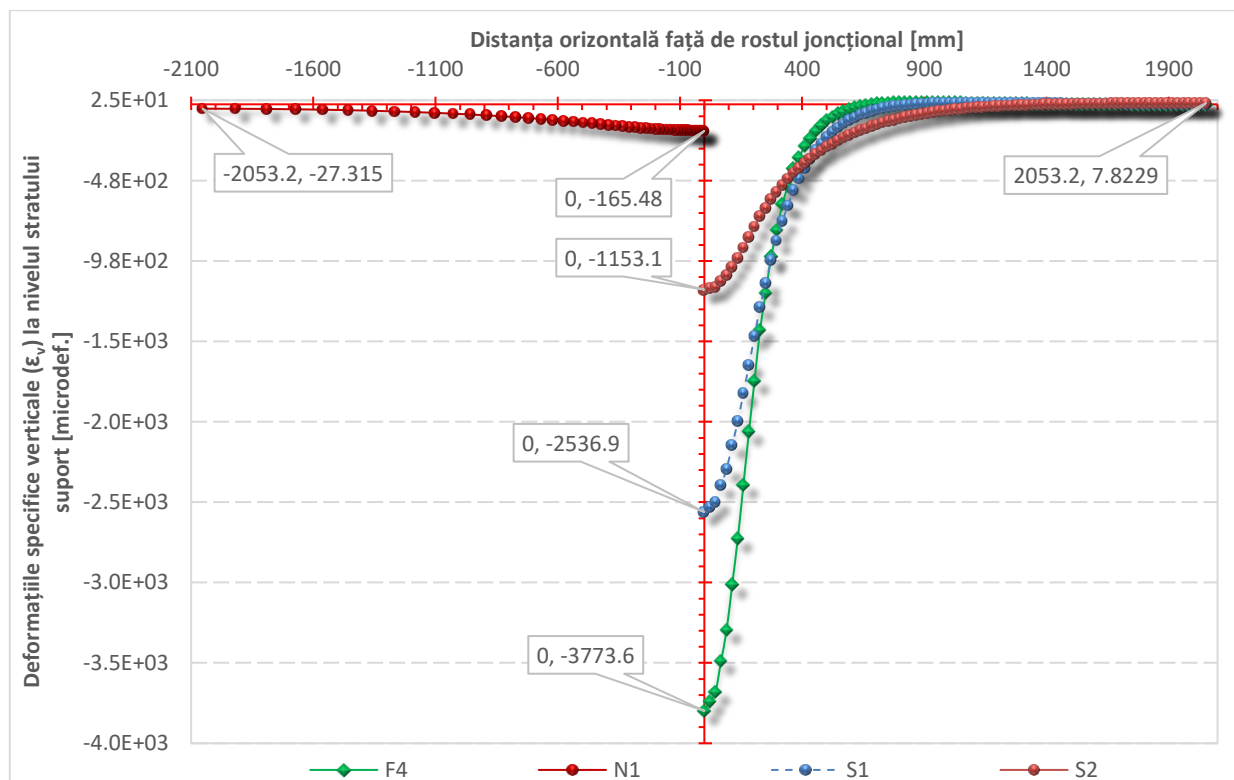


Figura 5.29. Variațiile deformațiilor specifice verticale la nivelul stratului suport pentru F4, N1, S1 respectiv S2
The variations of vertical strains for the subgrade layers of the pavements F4, N1, S1 and S2

În Figura 5.29 se observă variația deformațiilor specifice verticale calculate la nivelul stratului suport pentru structurile F4, S1, S2 și N1. Interesant este faptul că valorile ϵ_v calculate în punctele cele mai îndepărtate de rostul joncțional prezintă valori pozitive pentru structurile rutiere ce aparțin drumurilor forestiere, spre deosebire de valorile obținute pentru structura rutieră N1. Acest aspect denotă faptul că structura N1 prezintă o comportare mai bună privind solicitarea spațială a materialului din stratul suport. Astfel că, valoarea numerică a deformațiilor specifice verticale, calculate în punctul situat la o distanță de - 2,0532 m față de rostul joncțional, este caracteristică solicitării de compresiune, pe când valorile pozitive, aferente structurilor rutiere ce aparțin drumurilor forestiere, denotă faptul că totuși la o distanță de + 2,0532 m față de rostul joncțional are loc o solicitare de întindere. Într-adevăr, valorile pozitive sau negative ale deformațiilor specifice (ϵ_v) calculate în aceste puncte situate la distanță maximă față de rost sunt relativ mici. Totuși, structurile rutiere forestiere prezintă la nivelul stratului suport, în zona menționată, valori pozitive ale ϵ_v ceea indică o capacitate portantă aferentă relativ redusă.

Analizând Figura 5.30 se observă că din punct de vedere al aportului privind reducerea valorilor deformațiilor specifice verticale, adus de soluțiile S1 respectiv S2 la structura rutieră F4, se constată că acestea realizează reduceri cu 1236,70 microdeformații pentru S1 și o reducere de 2620,50 microdeformații pentru S2. Aceste reduceri ale valorilor ϵ_v , calculate la nivelul stratului suport, se resimt în creșterea procentajului privind compatibilitatea deformațiilor specifice verticale aferente structurii F4 (Figura 5.31). Comparativ cu rostul joncțional inițial F4 - N1, aportul adus în vederea îmbunătățirii compatibilității deformațiilor specifice verticale, calculate la nivelul superior al

stratului suport, este în valoare de doar 2,13% pentru rostul joncțional S1 - N1 respectiv de 9,96% pentru S2 - N1. Având în vedere că aceste valori sunt relativ reduse se impune ca pentru drumurile forestiere să se implementeze soluții structurale ce prezintă o mai bună capacitate portantă.

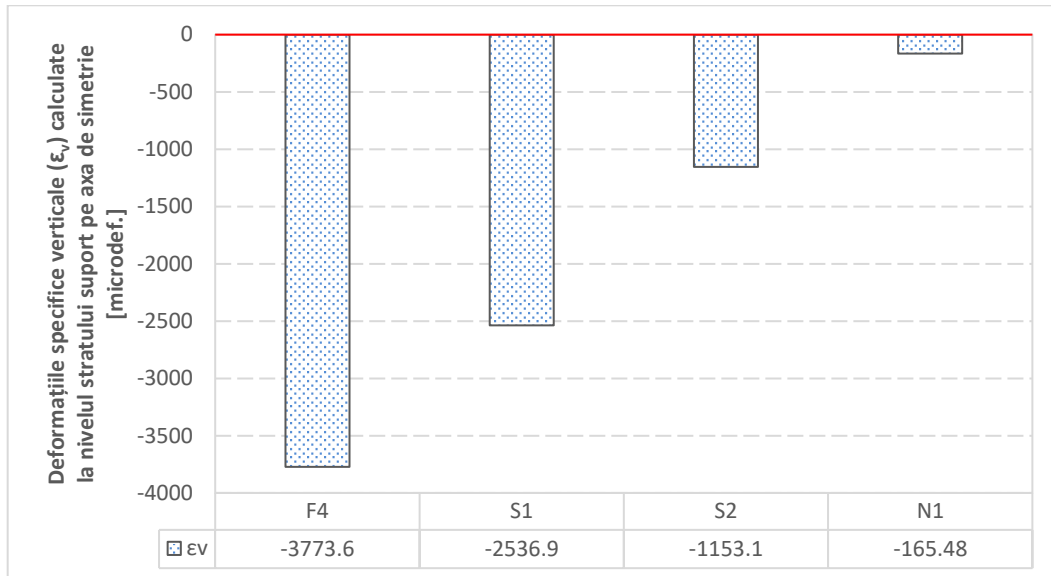


Figura 5.30. Deformațiile specifice verticale dezvoltate pe axa de simetrie la nivelul stratului suport aferent structurilor F4, N1, S1 și S2

The vertical strains developed on the symmetry axis for the subgrade layers of pavements F 4, N1, S1 and S2

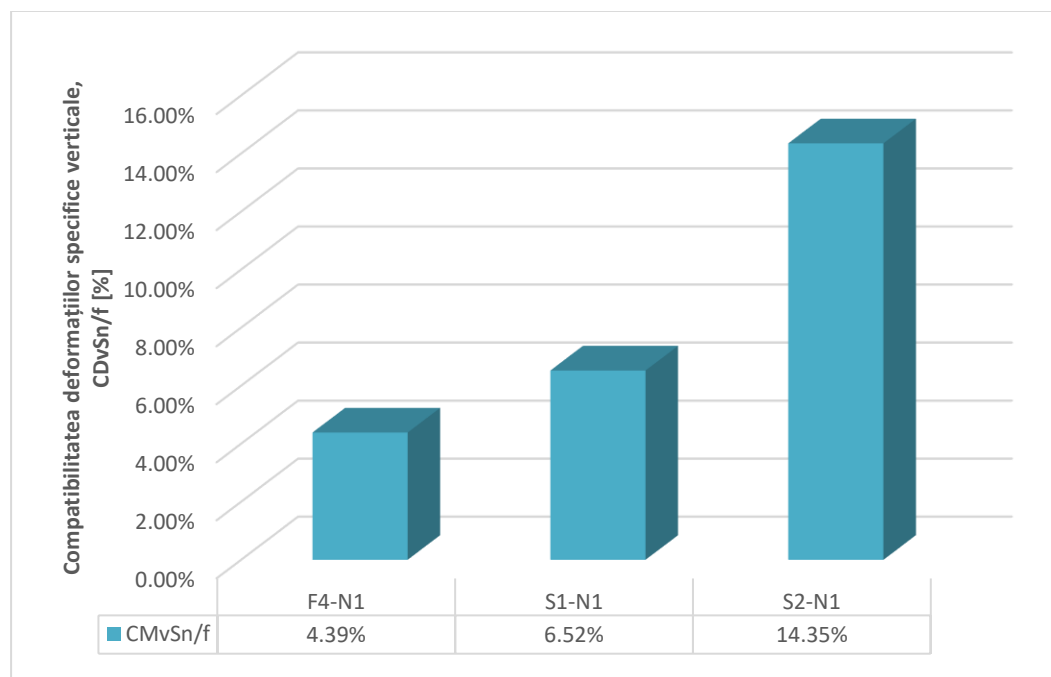


Figura 5.31. Compatibilitatea deformațiilor specifice verticale calculate la nivelul superior al straturilor suport pentru rosturile joncționale F4 - N1, S1 - N1 și S2 - N1

The compatibility of the vertical strains calculated for the subgrade layers of the junctions F4 - N1, S1 - N1 and S2 - N1

5.2.4. Rezultate privind compatibilitatea rosturilor joncţionale la care structurile aferente drumurilor forestiere prezintă armare cu geogrilă (soluţiile S3 - S11)

Variaţiile deformaţiilor specifice ε_v calculate pe axa de simetrie aferentă structurilor rutiere sunt prezentate într-un mod de ansamblu în Figura 5.32. După cum se observă, la cota de -0,80 m, valorile deformaţiilor specifice verticale sunt negative pentru toate structurile rutiere analizate. Un alt aspect ce rezultă din figura de mai jos este acela că pentru structurile S3 - 11, nu s-a mai ţinut cont de valorile deformaţiilor specifice ε_v aferente muchiei superioare a stratului suport. Pentru acest fapt se constată că graficele aferente prezintă un profil ușor diferit în zona respectivă comparativ cu graficele aferente structurilor F4 și N1.

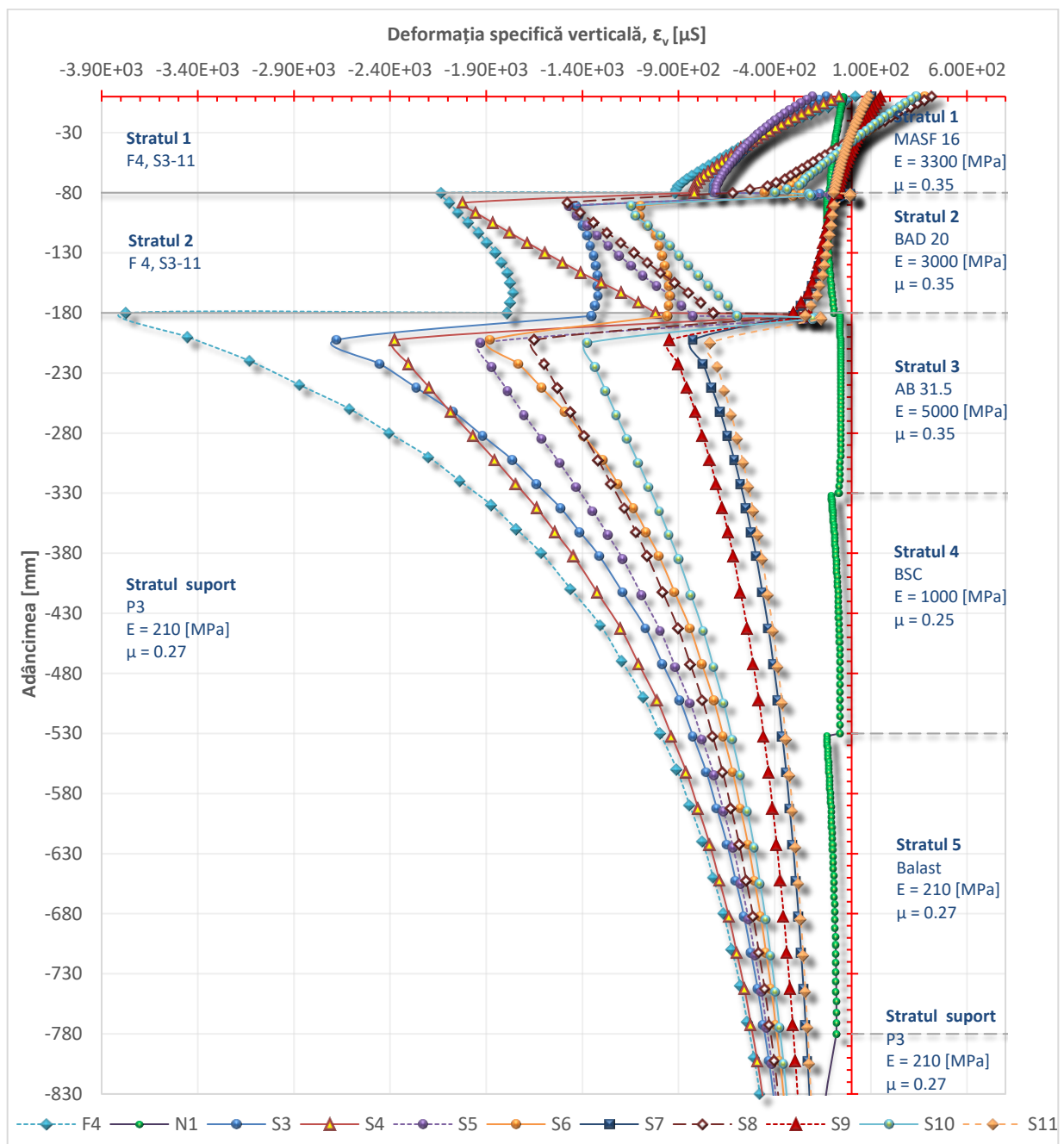


Figura 5.32. Variaţiile deformaţiilor specifice verticale pentru structurile F4, N1, S3 - 11, pe adâncimea 0-830 mm
The variations of vertical strains for the pavements F4, N1, S3-11, on the on the depth 0-830 mm

Modul de variație al deformațiilor specifice verticale, aferente structurilor F4, S3 și S11, este prezentat și în Figura 5.33. Aceste diagrame sunt extrase din rezultate obținute cu soft-ul de calcul ANSYS™. Astfel, se observă că valorile minime ale deformațiilor specifice ε_v se obțin în zona superioară a stratului suport, iar valorile maxime (pozitive) se regăsesc în zona superioară a stratului de uzură.

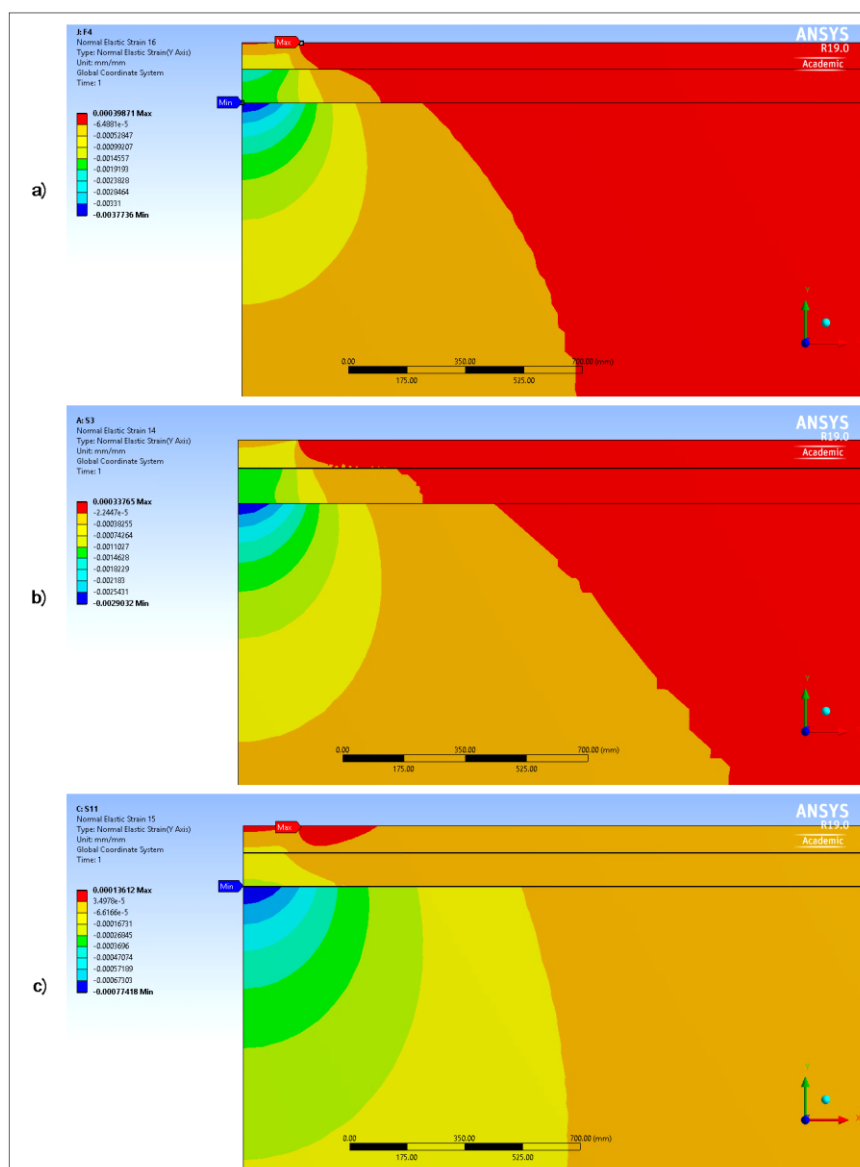


Figura 5.33. Deformațiile specifice verticale în secțiunile verticale aferente structurilor F4 (a), S3 (b), S11 (c)
Radial strains in the vertical sections of the pavements F4 (a), S3 (b), S11 (c)

Așa cum s-a menționat anterior, unul dintre cei mai importanți factori ce determină compatibilitatea structurilor rutiere, ce constituie un rost joncțional de tipul drum forestier – drum național, este raportul tasărilor verticale calculate pentru ambele structuri constitutive. Așadar, în Figura 5.34 se prezintă variațiile deformațiilor verticale calculate pe axa de simetrie aferentă structurilor rutiere F4, S3 - 11 respectiv N1. După cum se observă, structura rutieră S11, ce aparține drumurilor

forestiere, prezintă graficul cel mai apropiat de graficul structurii etalon N1. De remarcat este faptul că soluția S7 prezintă un grafic apropiat de cel dezvoltat de S11.

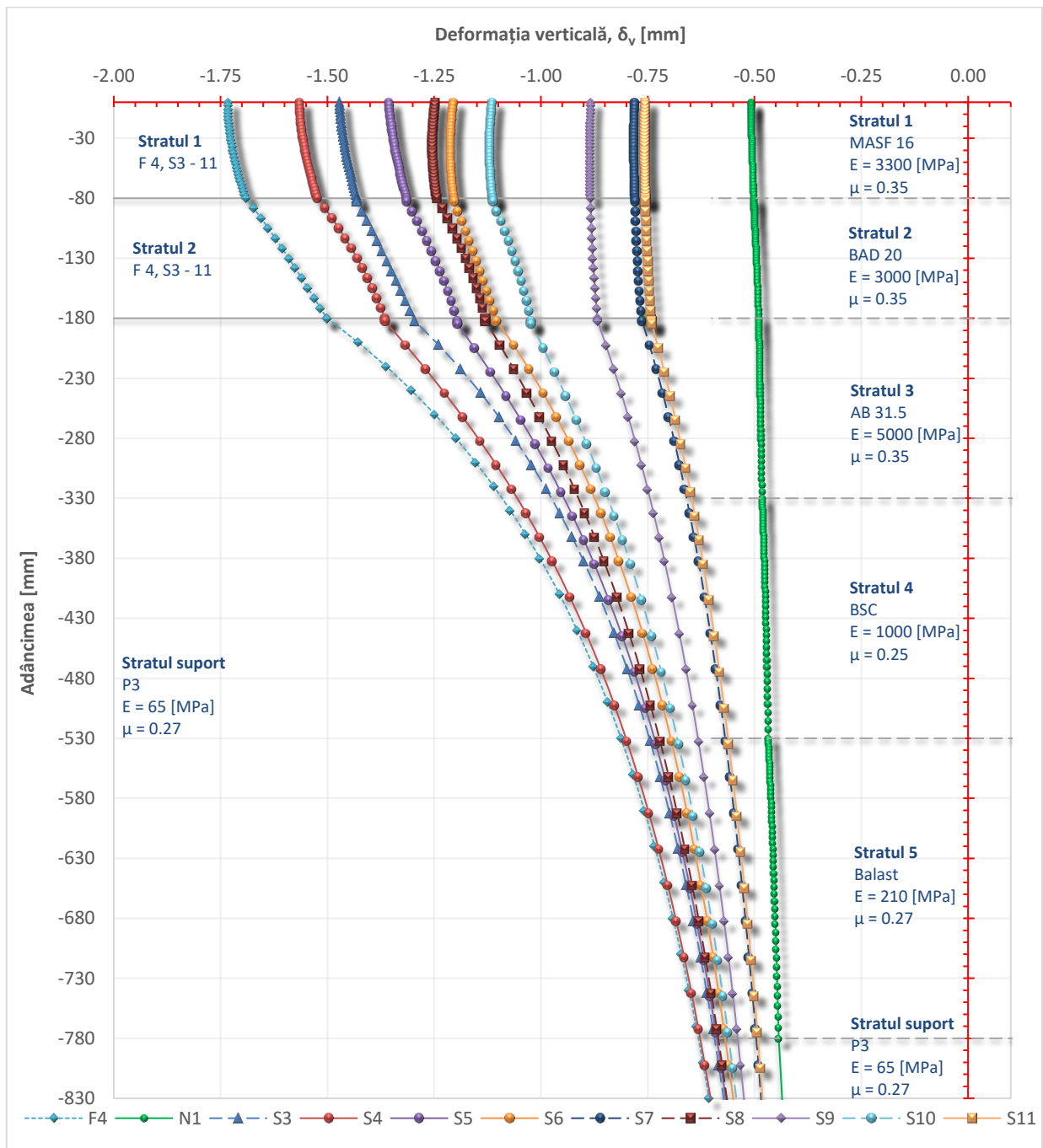


Figura. 5.34. Variațiile deformațiilor verticale pentru structurile F4, N1, S3 - 11
Variations of the vertical deformations for the pavements F4, N1, S3-11

De asemenea, se identifică faptul că structura S9 este a treia structură privind ierarhia compatibilității deformațiilor verticale cu structura etalon N1. După acest clasament al compatibilității urmează soluția S10. Oricum, se identifică următoarea ierarhizare în ceea ce privește deformațiile verticale ale straturilor de uzură: N1 -S11 - S7 -S9 - S10 - S6 - S8 - S5 - S3 - S4 - F4. Această constatare este deosebit de importantă în faza de proiectare a structurilor rutiere armate cu geogridurile. Practic, o structură rutieră de tip S3 (la care geogridul este amplasată între stratul de uzură

şi stratul de fundaţie) prezintă o tasare relativ mai redusă comparativ cu soluţia S4 (care prezintă amplasarea geogreii între stratul de fundaţie şi stratul suport). Acest aspect îşi face prezenţă şi în cazul soluţiilor S7 şi S8. Aceste structuri, spre deosebire de structurile S3 şi S4, prezintă straturile de uzură şi de fundaţie constituite din materiale de tip MASF 16 şi BAD 31,5. Ierarhiile deformaţiilor menţionate anterior pot fi identificate şi în Figurile 5.35 şi 5.36.

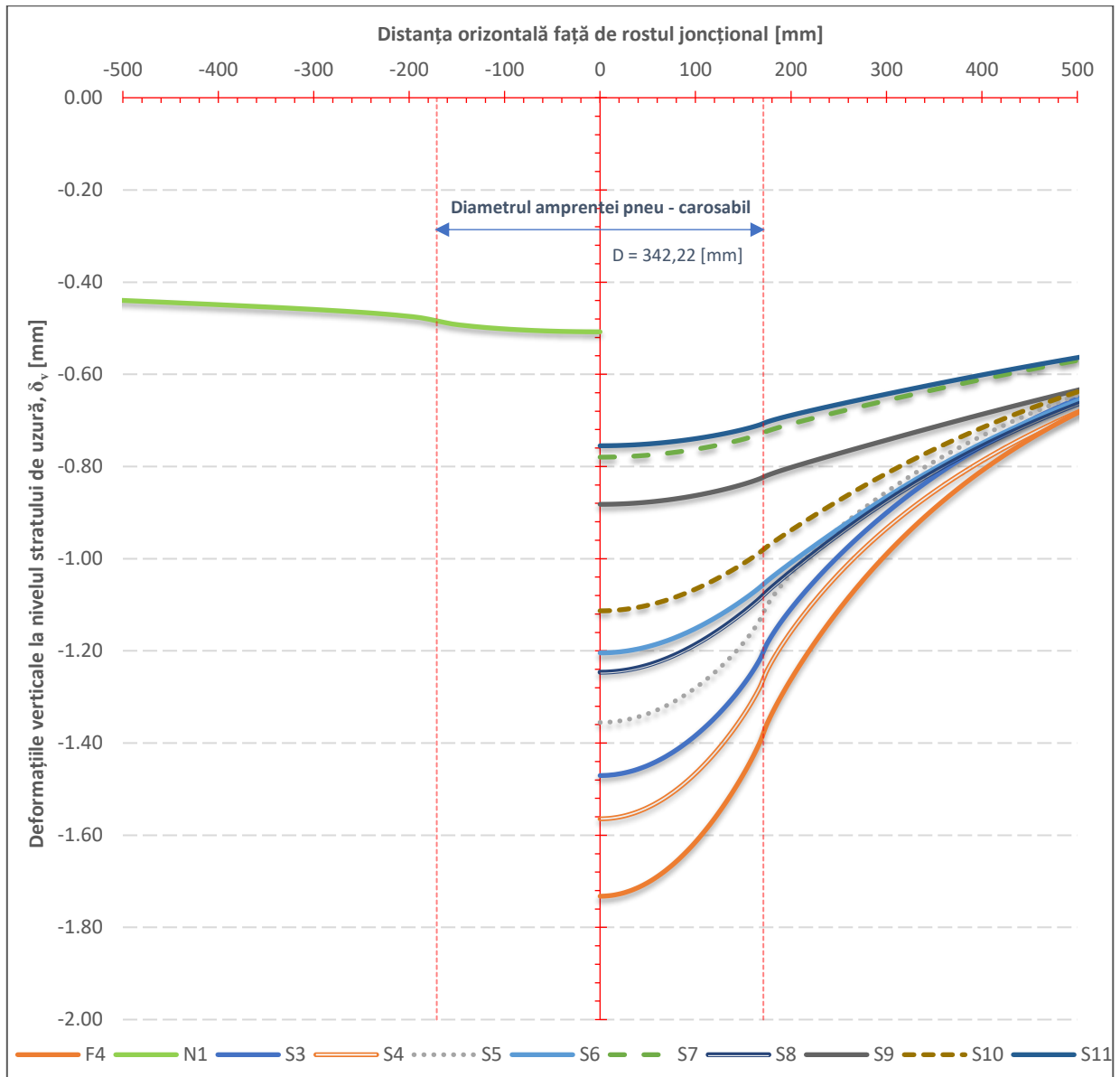


Figura 5.35. Variațiile deformațiilor verticale la nivelul straturilor de uzură aferente structurilor rutiere F4, N1, S3 - 11
The variations of the vertical deformations for the surface layers of the pavements F4, N1, S3-11

Analizând Figura 5.35 se constată modurile de deformare ale straturilor de uzură (muchia superioară). Astfel, se observă că o structură rutieră mai slab consolidată (de exemplu structura F4) prezintă accentuarea valorilor deplasărilor verticale în apropierea axei de simetrie, în comparație cu o structură rutieră ce prezintă stratificația structurii N1. Aceste accentuări sunt cauzate de încărcarea aplicată pe amprenta rezultată în urma contactului pneu – carosabil.

Similar, în Figura 5.36 se prezintă modurile de deformare ale straturilor suport (muchia superioară) aferente structurilor F4, S3-11 și N1. Se observă că ierarhizarea structurilor privind compatibilitatea deformațiilor stratului suport este similară cu cea prezentată în Figura 5.35.

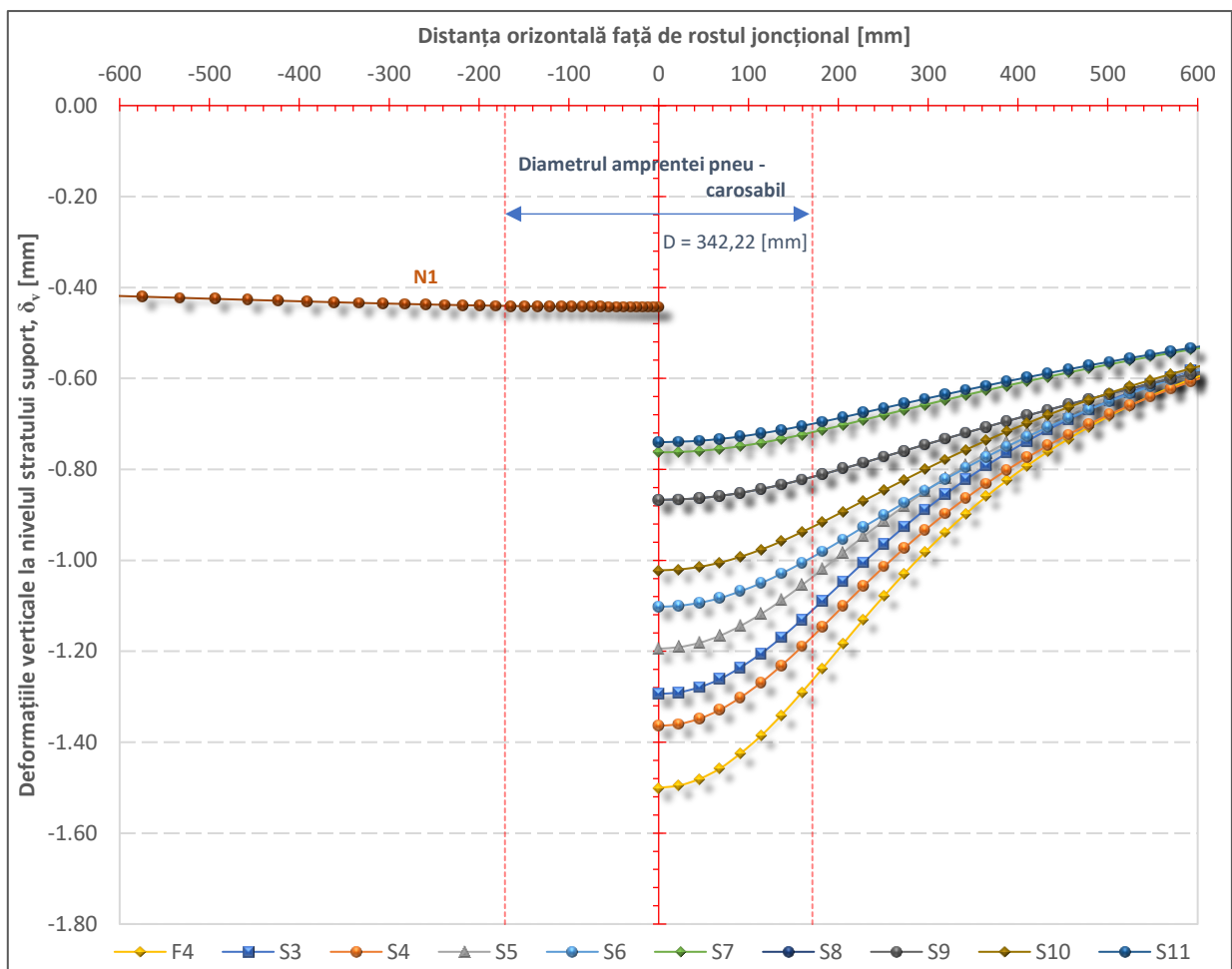


Figura 5.36 Variațiile deformațiilor verticale la nivelul straturilor suport aferente structurilor rutiere F4, N1, S3 - 11
The variations of the vertical deformations for the subgrade layers of the pavements F4, N1, S3-11

După cum se observă în figura de mai sus, se pare că zona de aplicare a sarcinilor verticale, dezvoltate la contactul pneu - carosabil, are o influență relativ mai redusă pentru straturile de fundare comparativ cu variațiile deformațiilor straturilor de uzură.

După cum s-a menționat S3 - 11 sunt soluții de consolidare a structurii F4. Cum era de așteptat aceste soluții aduc aporturi diferite privind reducerea tasărilor verticale comparativ cu structura F4. Astfel, după cum se ilustrează în Figura 5.37, structura S11 realizează o reducere a tasărilor verticale cu un procent de 56.42% pentru stratul de uzură, iar pentru stratul suport se înregistrează o reducere de 50.66%. Cu alte cuvinte soluția S11 reușește să reducă cu mai mult de jumătate deformațiile verticale aferente structurii F4. Interesant este și modul în care sunt reduse tasările verticale de către soluțiile S3, S4 și S5. Se pare că dacă geogrila este amplasată la nivelul de contact strat suport - strat de fundație se obține o reducere a tasării cu 9.69% pentru stratul de uzură, pe când dacă geogrila, cu aceleași caracteristici, este amplasată la nivelul strat de uzură - strat de fundație reducerea tasării este mai mare și prezintă valoarea de 15.11%. Așadar, în cazul în care se dimensionează o structură

rutieră similară cu F4 se recomandă ca elementul de geogrilă să se amplaseze la nivelul inferior al stratului de uzură.

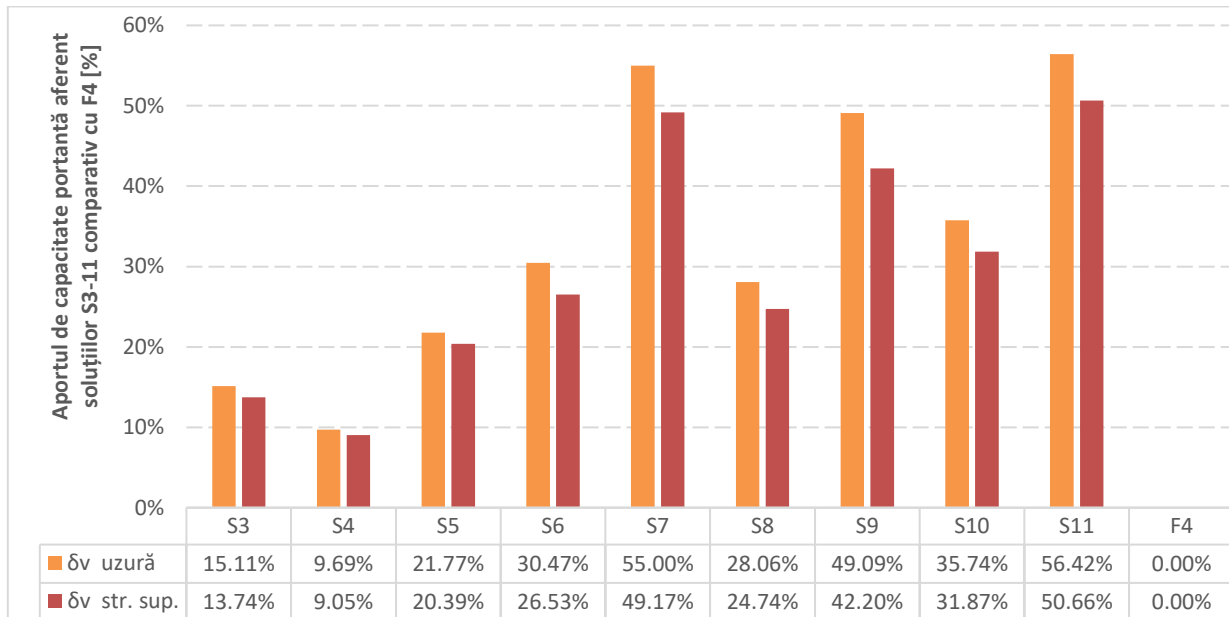


Figura 5.37. Sporul de capacitate portantă aferent soluțiilor S3-11 comparativ cu structura inițială F4
The increase of the load capacity corresponding solutions S3-11 comparative with the initial pavement F4

Variația crescătoare a modului de elasticitate aferent elementului geogriței conduce la scăderea tasărilor verticale. Acest aspect este prezentat în Figura 5.38. După cum se observă în figura de mai jos, creșterea modului de elasticitate aferent soluției S5, de la 20000 MPa la 50000 MPa, induce o reducere a tasării cu 4,09%. Similar se dezvoltă o reducere a tasării verticale și pentru soluțiile S3 și S4 cu valorile 3,41% respectiv 2,13%. Cu alte cuvinte, pentru o creștere aproximativă de peste 100% a valorii modului de elasticitate al geogriței se obține o reducere aproximativă a tasării sub 4,10%.

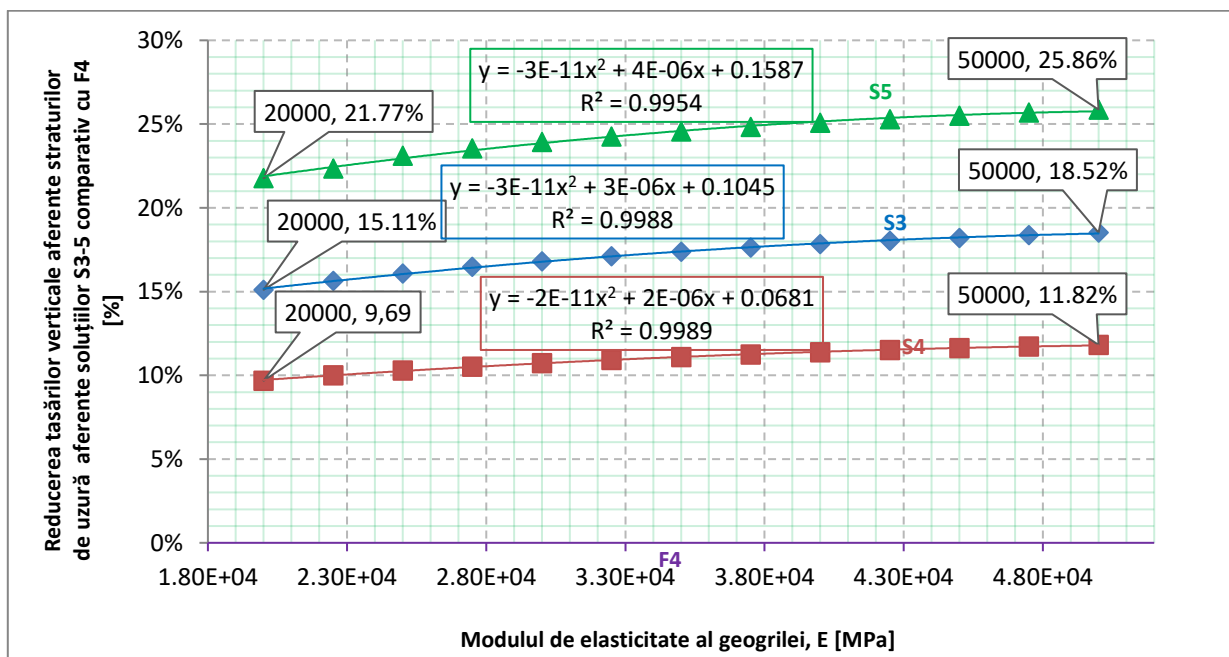


Figura 5.38. Reducerea tasărilor verticale ale straturilor de uzură aferente S3-5 comparativ cu cele obținute pentru F4
The reduction of the vertical deformations for S3 - 5 compared with those obtained for F4

Revenind la compatibilitatea structurilor rutiere ce alcătuiesc un rost joncțional, în Figura 5.39 sunt prezentate sub formă procentuală valorile $CD_{vS_{n/f}}$ ale rosturilor joncționale formate de structurile rutiere F4, S3 – 11 cu N1. După cum se observă, rostul F4 – N1 realizează o compatibilitate de doar 29,31% pentru tasările straturilor de uzură, respectiv, 29,54% pentru tasările stratului suport. Ca urmare a soluțiilor tehnice propuse se observă că rostul joncțional S11 - N1 prezintă o compatibilitate maximă de 67,26% aferentă tasărilor verticale ale straturilor de uzură, iar pentru cazul în care valorile se înregistrează la nivelul stratului suport se obține valoarea de 59,86%. Cu alte cuvinte, prin adoptarea soluției S11 - N1 se obține o creștere a compatibilității a deformațiilor verticale ale straturilor de uzură cu 37,95% comparativ cu cea obținută de rostul F4 - N1.

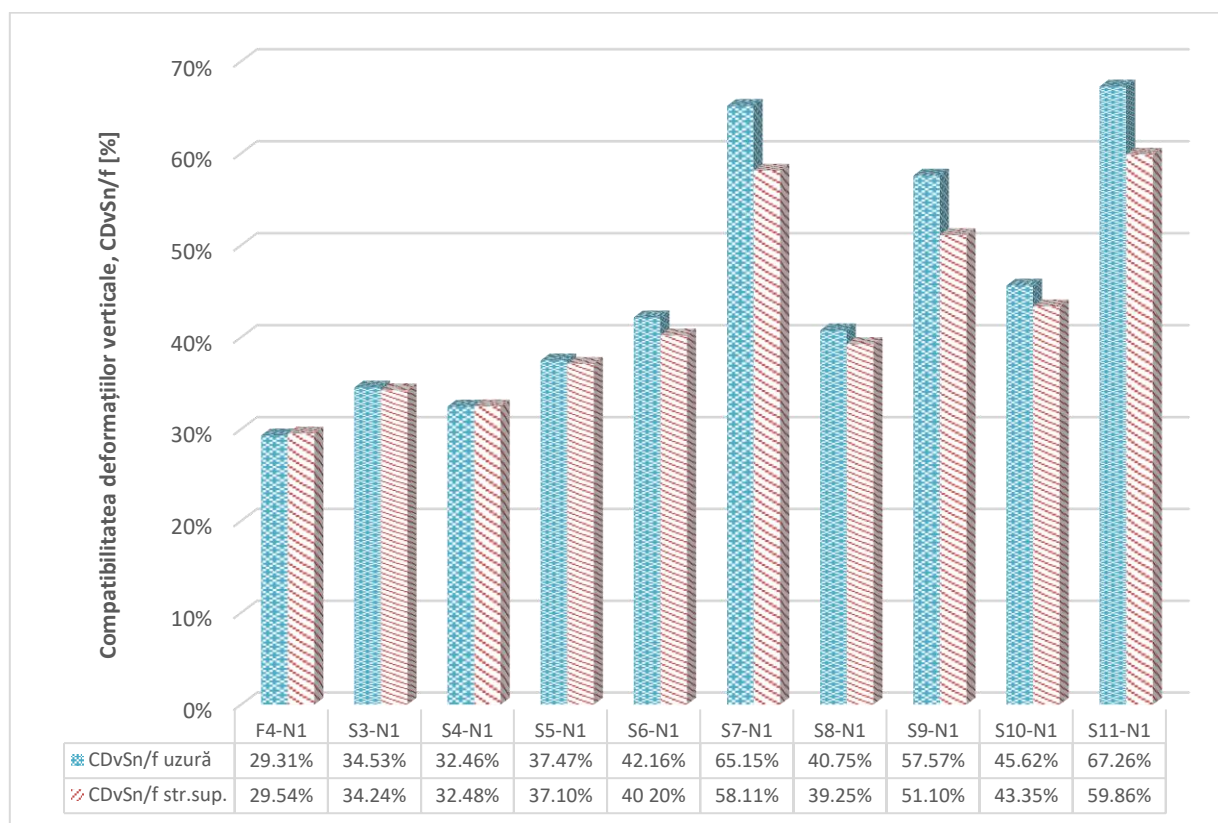


Figura 5.39. Compatibilitatea deformațiilor verticale dezvoltate de F4, S3 – 11 și de N1
The compatibility of the vertical deformations for F4, S3-11 and N1

Realizând o analiză de ansamblu privind ciclicitatea evolutivă a compatibilității tasărilor verticale aferente perechilor de rosturi joncționale (S6 – N1, S7 – N1), (S8 – N1, S9 – N1) și (S10 – N1, S11- N1) să observă că structurile rutiere S6 - N1, S8 – N1 și S10 – N1 prezintă valori ale $CD_{vS_{n/f}}$ mai mari comparativ cu rosturile S3 – N1, S4 – N1 și S5 – N1. Acest aspect apare deoarece pentru primele trei rosturi menționate stratul de uzură din macadam este înlocuit cu strat din MASF 16. Pentru structurile S7, S9 și S11, pe lângă stratul de uzură din MASF 16, mai este înlocuit și stratul de fundație din balast (aferent F4) cu un strat din BAD 31,5. Aceste înlocuiri ale materialelor componente dezvoltă valori ale deformațiilor verticale diferite ce se află în relație indirect proporțională cu creșterea caracteristicilor mecanice aferente materialelor impuse.

5.2.5. Rezultate privind compatibilitatea rosturilor joncţionale DF - DN la care structurile aferente drumurilor forestiere prezintă strat de formă realizat prin stabilizarea terenului de fundare cu var, zgură de termocentrală şi ciment Portland (S12 - S47)

Având în vedere că prin impunerea soluţiilor propuse S1-S11 s-a obţinut o compatibilitate maximă a tasărilor verticale de 67,26%, în continuare se va studia compatibilitatea unui rost joncţional drum forestier - drum naţional atunci când stratul suport (P3) prezintă o îmbunătăţire a capacităţii portante. Aşadar, la structurile rutiere F4 şi S1 - 11 se vor impune introducerea unui strat de formă cu grosimea de 20 cm, realizat prin stabilizarea terenului natural (P3) cu var, cu zgură de termocentrală - var respectiv cu ciment Portland.

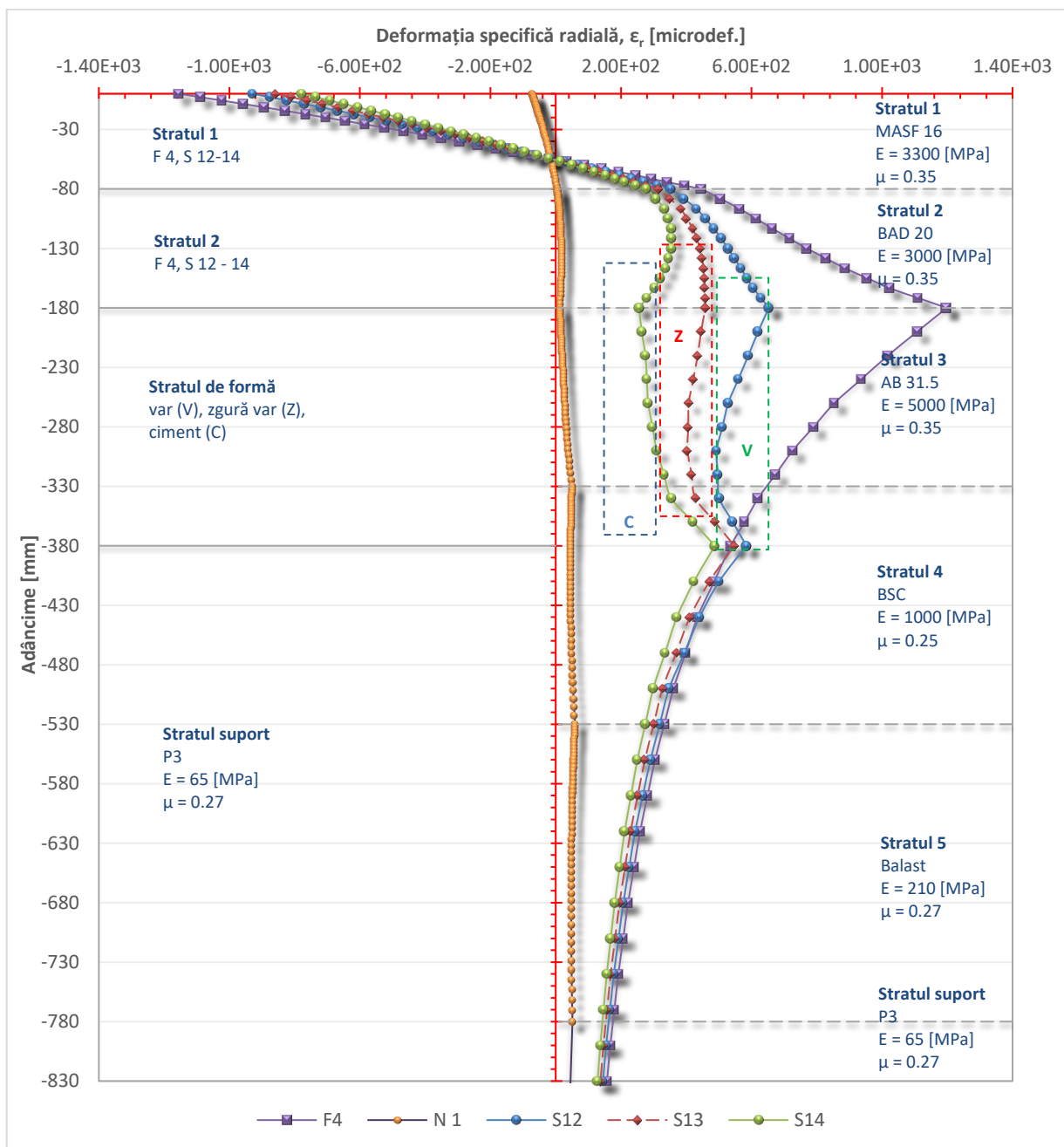


Figura 5.40. Variaţiile deformaţiilor specifice radiale pentru structurile F4, S12 - 14, N1
The variations of the radial strains for the pavements F4, S12-14, N1

În Figura 5.40 sunt prezentate variațiile deformațiilor specifice ε_r calculate pe axa de simetrie, aferentă adâncimii 0 – 830 mm, pentru structurile F4, S12, F13, 14 și N1. Practic, soluțiile S12 – S14 reprezintă structura rutieră F4 la care s-a realizat un strat de formă stabilizat cu var, cu zgură de termocentrală și var și cu ciment. După cum se observă, structura rutieră S14, ce prezintă strat de formă realizat prin stabilizare cu ciment Portland, prezintă un profil al deformațiilor specifice ε_r apropiat de profilul etalon, aferent N1. Astfel, valoarea deformațiilor specifice ε_r , aferente muchiei superioare a stratului de formă pentru structura S14, este de 255,60 microdeformații, iar deformația specifică ε_r calculată în același punct pentru F4 este de 1198,30 microdeformații (a se vedea Figura 5.41). Astfel, se obține o deformație specifică mai redusă de 4,69 ori. Toate acestea în condițiile în care pentru structura N1 s-a obținut o valoare de 51,5 microdeformații. De asemenea, se constată că pentru soluția S13, la care stratul de formă prezintă stabilizare cu zgură de termocentrală și var, deformațiile specifice ε_r calculate la nivelul superior al stratului de formă este în valoare de 459 microdeformații. Soluția S12 dezvoltă la același nivel al stratificației structurale deformații specifice ε_r de 652,99 microdeformații. Oricum, analizând profilul graficelor se constată că impunerea unui strat de formă aduce un aport considerabil în reducerea deformațiilor specifice radiale.

Extinzând analiza anterior realizată și pentru soluțiile S15 – 47, situație prezentată în Figura 5.42, se constată că soluția tehnică S47 transmite valoarea cea mai redusă a deformațiilor specifice ε_r la stratul suport, fapt pentru care graficul aferent acestei soluții se află în imediata proximitate a graficului etalon aferent structurii ce reprezintă drumurile naționale, N1 (a se vedea variația deformațiilor specifice ε_r aferente zonei A, Figura 5.42). Așadar, valoarea deformațiilor specifice ε_r aferente soluției S47 este de 195,68 microdeformații. De remarcat este faptul că la cota – 0,18 m, graficul aferent structurii S47 nu este cel mai apropiat de axa zero dintre celelalte grafice aferente soluțiilor S12 – 47. Astfel, se pare că un aport considerabil în reducerea deformațiilor specifice ε_r este deținut de impunerea stratului de formă stabilizat cu ciment Portland. Acest aspect se observă și în Figura 5.41.

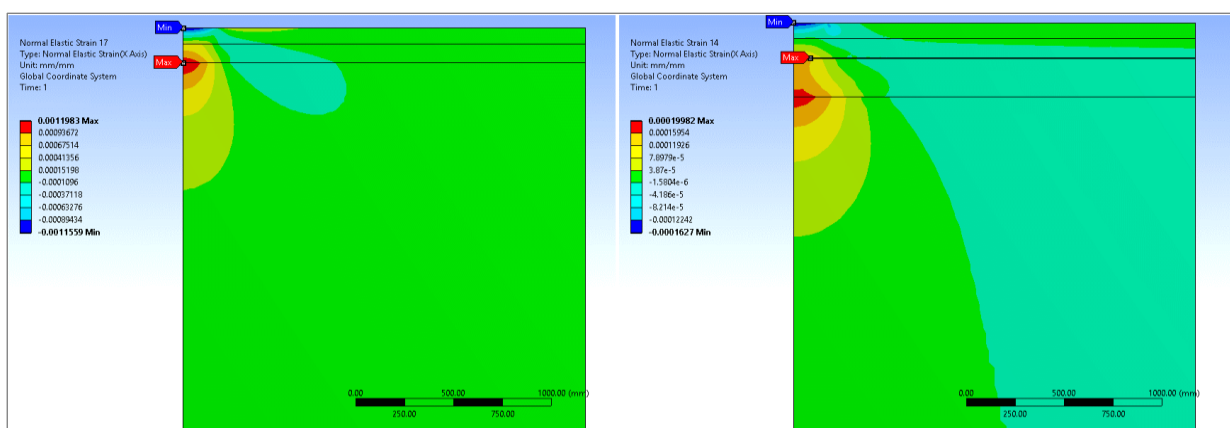


Figura 5.41. Stările deformațiilor specifice radiale dezvoltate în secțiunile verticale ale structurilor F4, S47
Radial strains are developed in the vertical section of the pavements F4, S47

Analizând variația deformațiilor specifice ε_v în zona B, Figura 5.42 se constată că structura rutieră S47 prezintă cea mai redusă valoare dintre toate celelalte soluții propuse. Această valoare este de -162,70 microdeformații, iar valoarea aferentă F4, calculată în același punct, este de -1155,90 microdeformații (Figura 5.41).

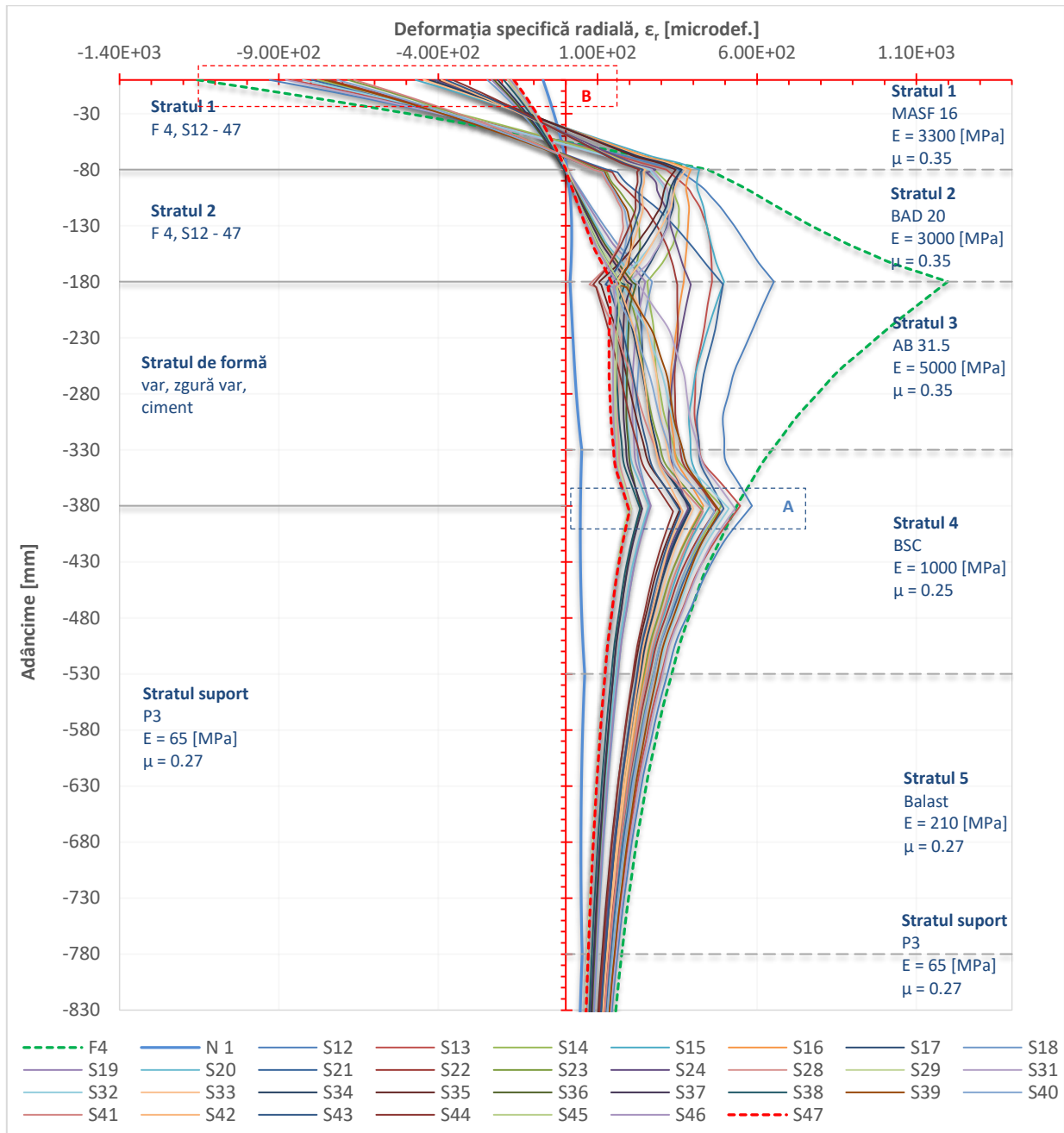


Figura 5.42. Variațiile deformațiilor specifice radiale dezvoltate pe axa de simetrie a structurilor F4, N1, S12 - 47
The variations of the radial stresses developed on the symmetry axis of the pavements F4, N1, S12-47

Variațiile deformațiilor specifice ε_v aferente structurilor F4, N1, S12-14 sunt prezentate și în Figura 5.43. Astfel, se observă aportul privind starea de deformare a zonei superioare a stratului suport.

Interesant este faptul că tipul materialului utilizat la stratul de formă influențează și deformațiile specifice ϵ_v aferente stratului de uzură.

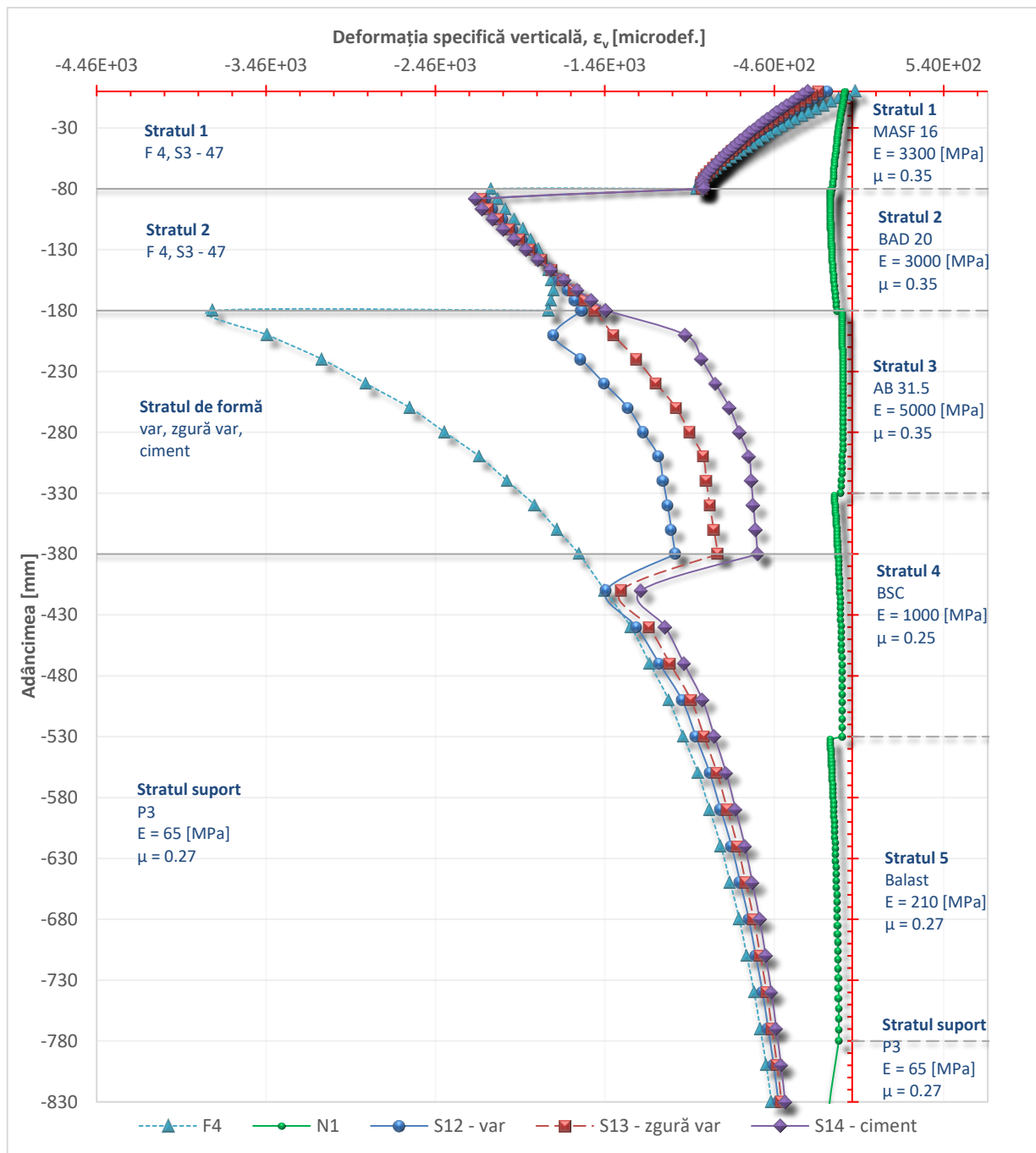


Figura 5.43. Variațiile deformațiilor specifice verticale dezvoltate pe axa de simetrie aferentă structurilor F4, N1, S12 - 14
The variations of the vertical strains on the symmetry axis of the pavements F4, N1, S12 - 14

În Figura 5.44 sunt prezentate variațiile deformațiilor specifice ϵ_v dezvoltate pe axa de simetrie aferentă structurilor rutiere N1, F4 și S 12-47. Se observă că soluția structurală care prezintă graficul cel mai apropiat de graficul etalon este S47. Dintre soluțiile expuse cea mai puțin eficientă se pare că este structura rutieră S12, urmată îndeaproape de S30. De asemenea, în figura de mai jos se poate observa convergența graficelor în zona cotei - 0,83 m.

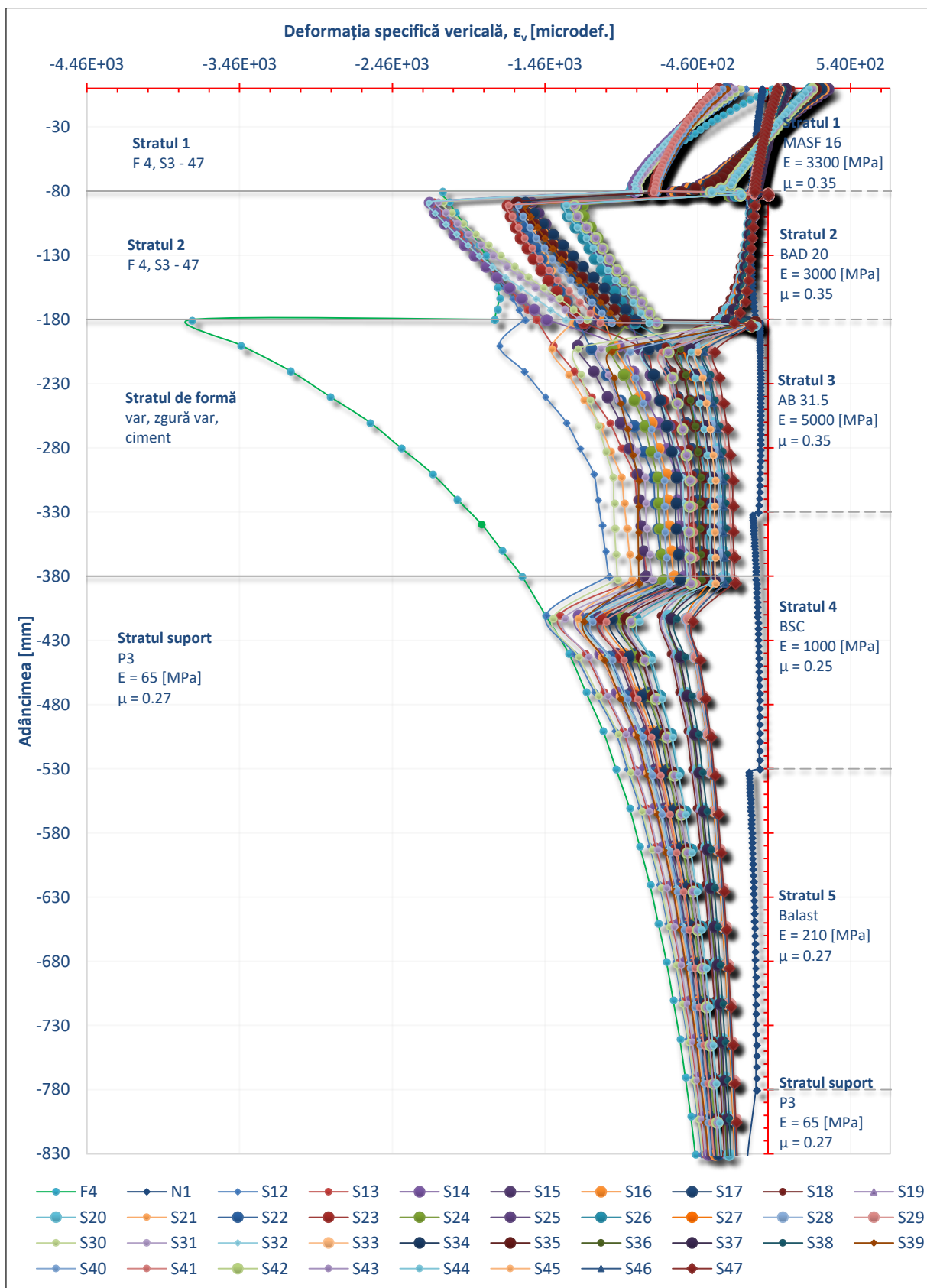


Figura 5.44. Variațiile deformațiilor specifice verticale dezvoltate pe axa de simetrie a structurilor F4, N1, S12 – 47
The variations of vertical strains on the symmetry axis of the pavements F4, N1, S12 – 47

În Figura 5.45 se pot observa variațiile deformațiilor specifice ϵ_v dezvoltate în secțiunea verticală aferentă structurilor F4 și S47. Interesant este faptul că valoarea minimă a deformațiilor ϵ_v migrează

de la cota -0,18 m, pentru structura F4, la cota -0,38 m aferentă structurii S47. Dar intensitatea celei de-a doua valori este mult redusă.

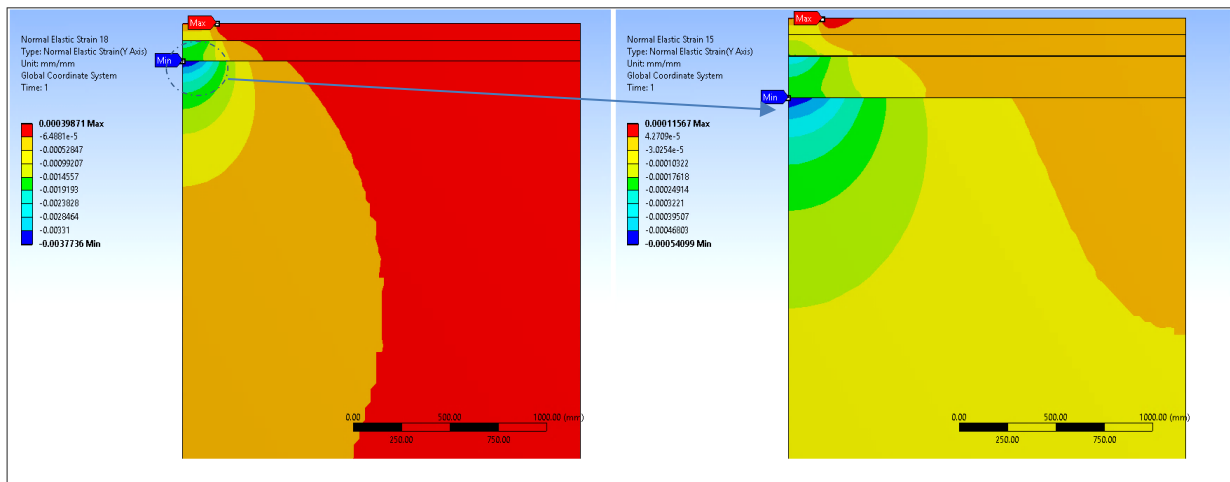


Figura 5.45. Deformațiile specifice verticale dezvoltate în secțiunea verticală a structurilor F4 (stânga), S47 (dreapta).

ANSYS™

Vertical strains on the vertical section of the pavements F4 (left), S47 (right). ANSYS™

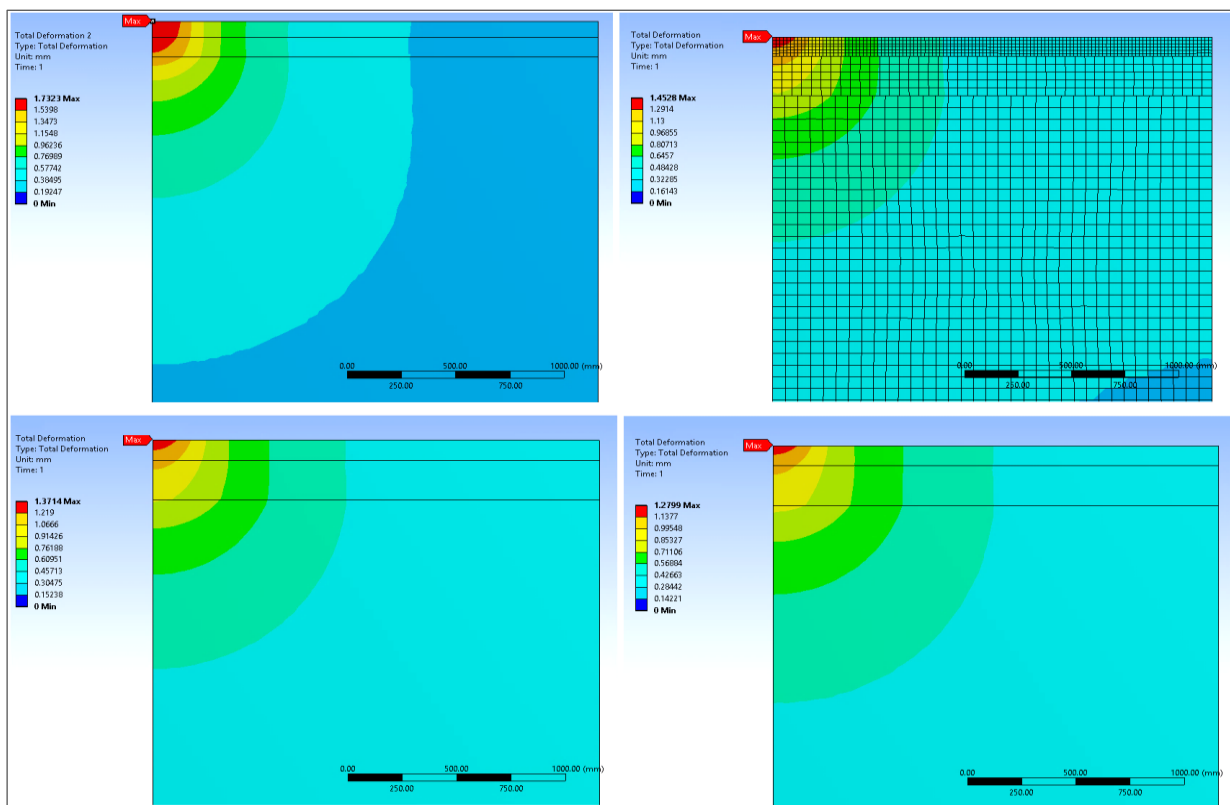


Figura 5.46. Tensiunile verticale dezvoltate în secțiunea verticală a structurilor F4 (stânga - sus), S12 (dreapta - sus), S13 (stânga - jos), și S14 (dreapta - jos). ANSYS™

Vertical tensions are developed in the vertical section of the pavements F4 (left-up), S12 (right-up), S13 (left-bottom) and S14 (right-bottom). ANSYS™

Variația deformațiilor verticale calculate pentru structurile F4, S12 – 14 sunt prezentate atât în secțiune verticală în Figura 5.46 cât și pe axa de simetrie în Figura 5.47. Se observă că structura rutieră S14 prezintă un grafic al deformațiilor verticale relativ mai apropiate de graficul etalon. Stabilizarea terenului natural cu ciment se pare că realizează o reducere a tasărilor verticale cu

11,90% mai mare comparativ cu tasarea dezvoltată de S12, ce prezintă stratul de formă din pământ stabilizat cu var.

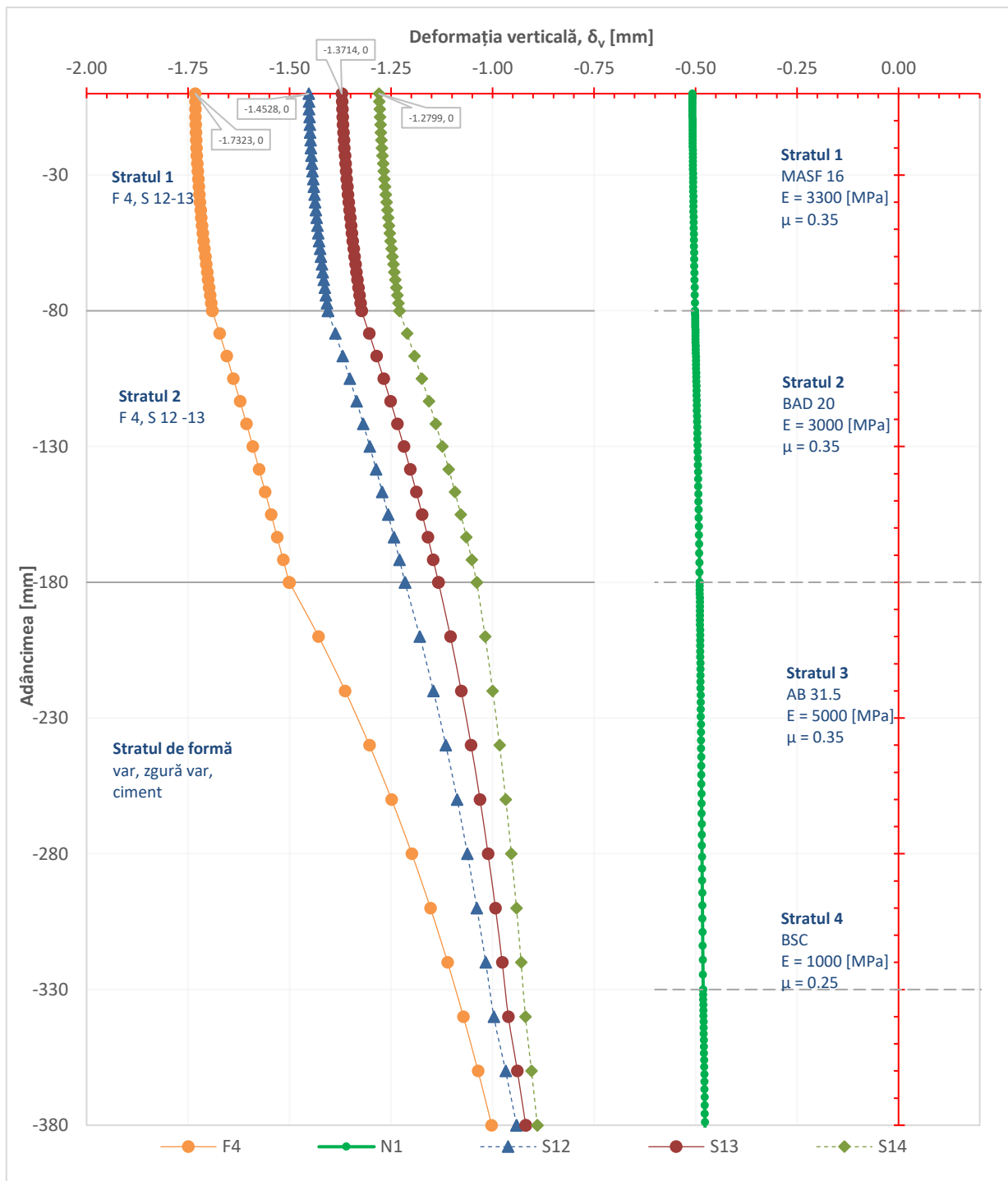


Figura 5.47. Variațiile deformațiilor verticale dezvoltate pe axa de simetrie a structurilor F4, N1, S12 - 14
The variations of vertical deformations developed on the symmetry axis of the pavements F4, N1, S12-14

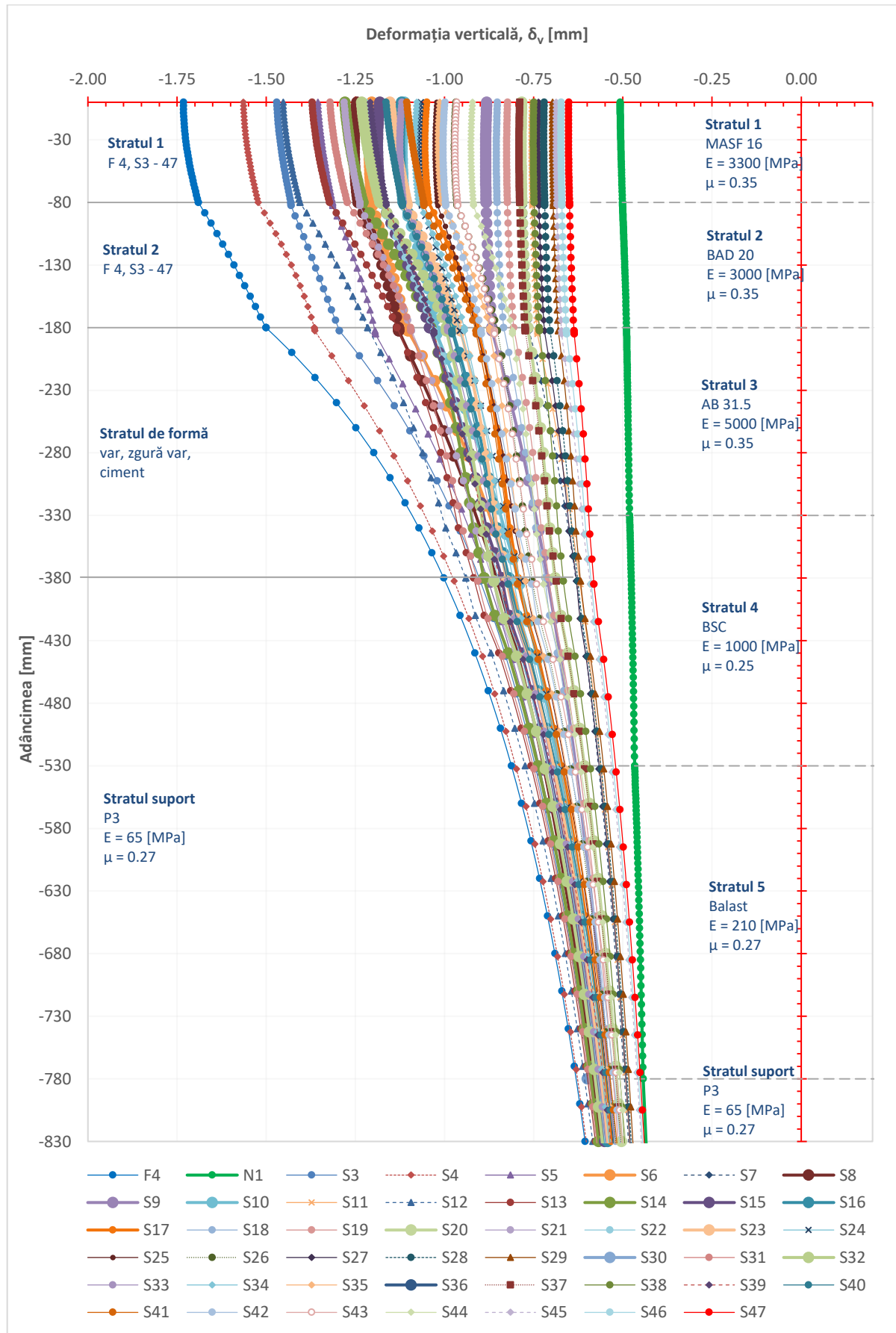


Figura 5.48. Variațiile deformațiilor verticale dezvoltate pe axa de simetrie aferentă structurilor F4, N1, S3 - 47
The variations of vertical deformations developed on the symmetry axis of the pavements F4, N1, S3 - 47

În Figura 5.48 se observă variațiile deformațiilor verticale pe adâncimea 0 – 830 mm pentru structurile F4, N1 și S3 – S47. Interesant este faptul că graficul aferent S47 prezintă o suprapunere cu graficul deformațiilor dezvoltate de structura N1. Având în vedere multitudinea de soluții se pare că majoritatea graficelor aferente nu prezintă o suprapunere în proximitatea cotei – 0,830 m.

Analizând Figura 5.48 se constată faptul că o structură rutieră cu cât este mai consolidată, profilul deformațiilor verticale aferente muchiei superioare a stratului de uzură, în zona amprentei pneu – carosabil, prezintă o formă relativ liniară. Practic, acest aspect este posibil datorită unei bune repartizări a eforturilor verticale pe adâncimea structurilor rutiere. În acest sens, interesant este modul prin care profilurile deformațiilor verticale se divid în două grupe. Aceste grupe sunt delimitate de suprafața A, din Figura 5.49. Această suprafață este delimitată de profilurile deformațiilor verticale aferente soluțiilor structurale S19 (sus) și S43 (jos). Structura S19 prezintă stratul de formă stabilizat cu zgură și var, iar structura S43 prezintă stratul de formă stabilizat doar cu var.

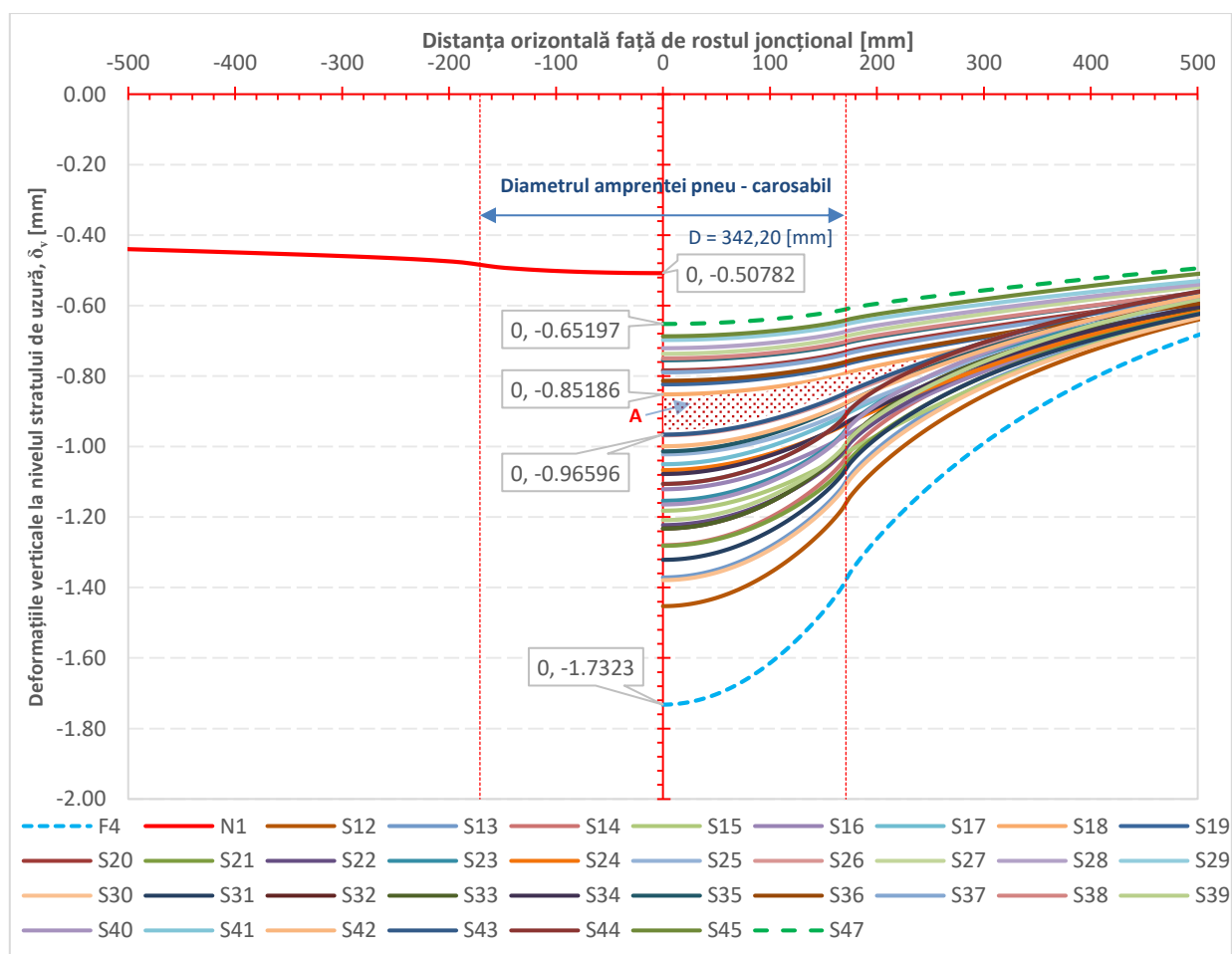


Figura 5.49. Variațiile deformațiilor verticale la nivelul straturilor de uzură aferente structurilor rutiere F4, N1, S12 – 47
The variations of vertical deformations for the surface layers of the pavements F4, N1, S12 – 47

Realizând o analiză comparativă asupra rezultatelor ilustrate în Figurile 5.50 și 5.51, se constată că, deformațiile calculate la nivelul stratului de formă sunt relativ mai mari decât cele aferente zonei superioare a stratului suport. Această constatare se datorează aportului de capacitate portantă indus

de stratul de formă. De asemenea, pentru realizarea unei analize de ansamblu a deformațiilor verticale aferente structurilor rutiere constituente rosturilor joncționale s-au întocmit Figurile 5.52 și 5.53. Astfel, se remarcă din nou faptul că structurile consolidate mai puternic prezintă o mai bună repartiție a eforturilor verticale pe adâncimea stratificației.

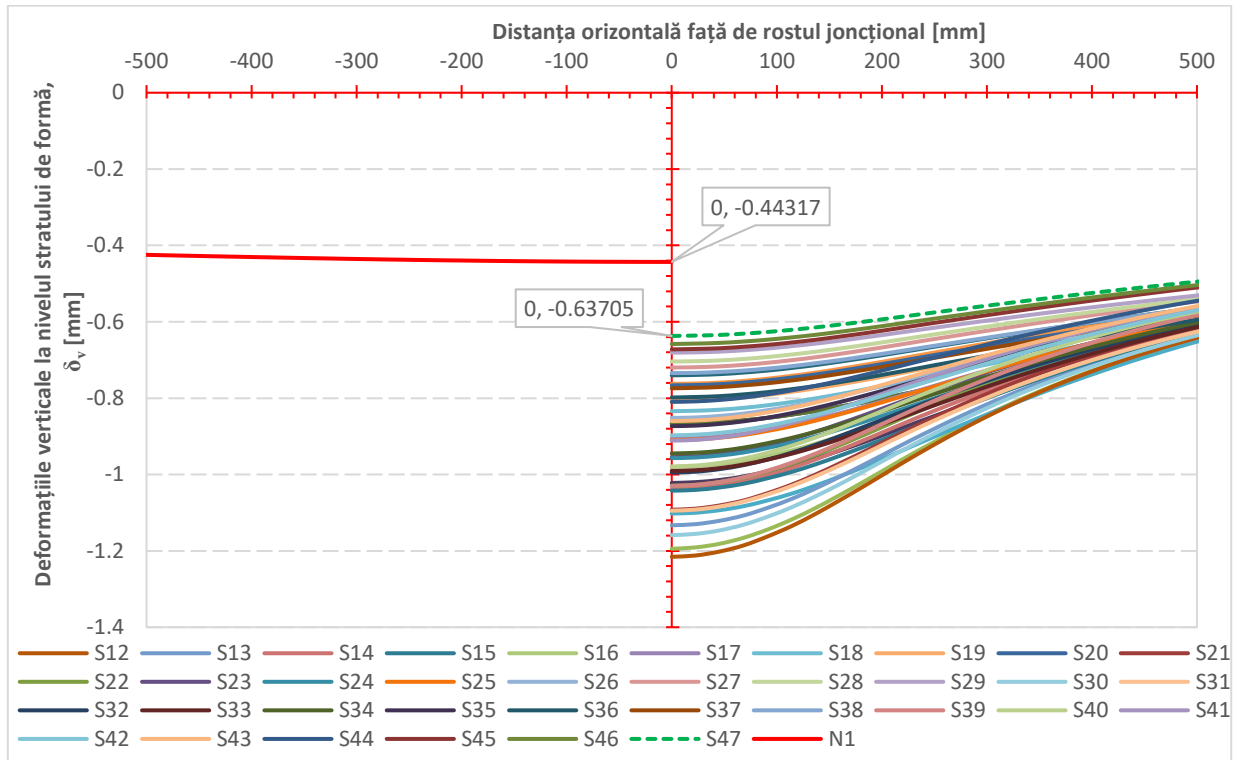


Figura 5.50 Variațiile deformațiilor verticale la nivelul straturilor de formă aferente structurilor rutiere F4, N1, S13 - 47
The variations of vertical deformations on subgrade layers of the pavements F4, N1, S13-47

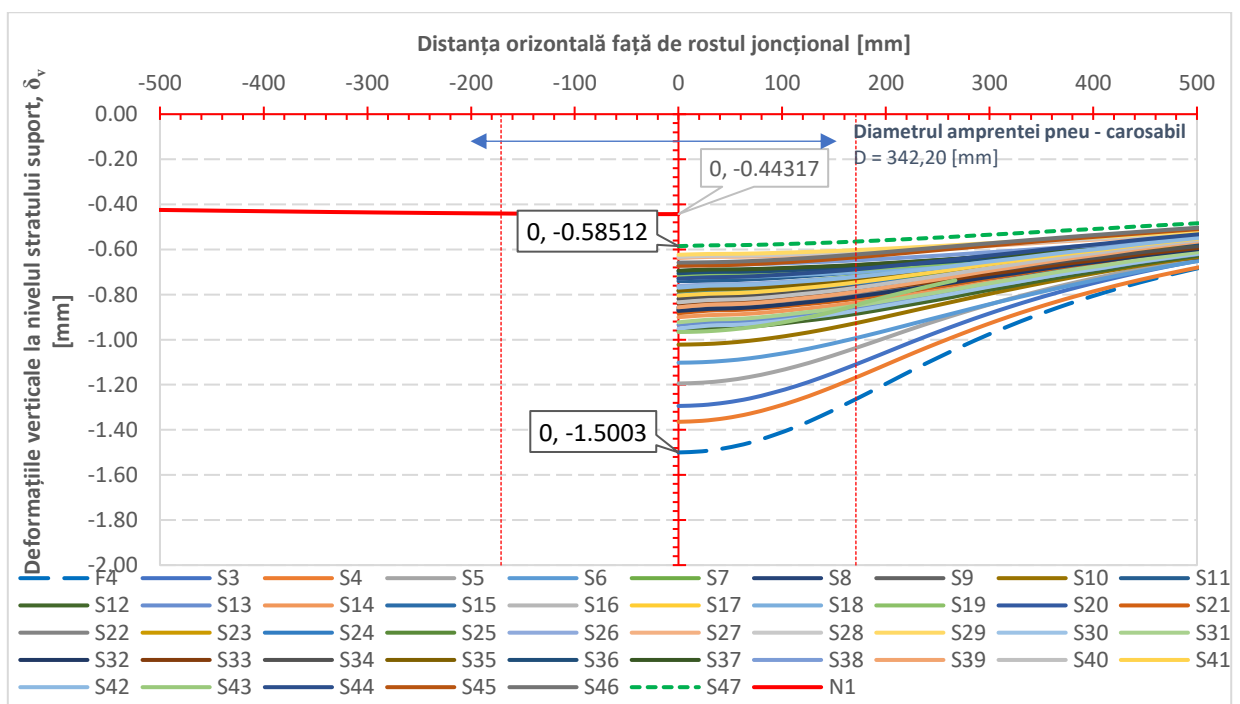


Figura 5.51 Variațiile deformațiilor verticale la nivelul straturilor suport aferente structurilor rutiere F4, N1, S3 - 47
The variations of the vertical deformations for the subgrade layers of the pavements F4, N1, S3 - 47

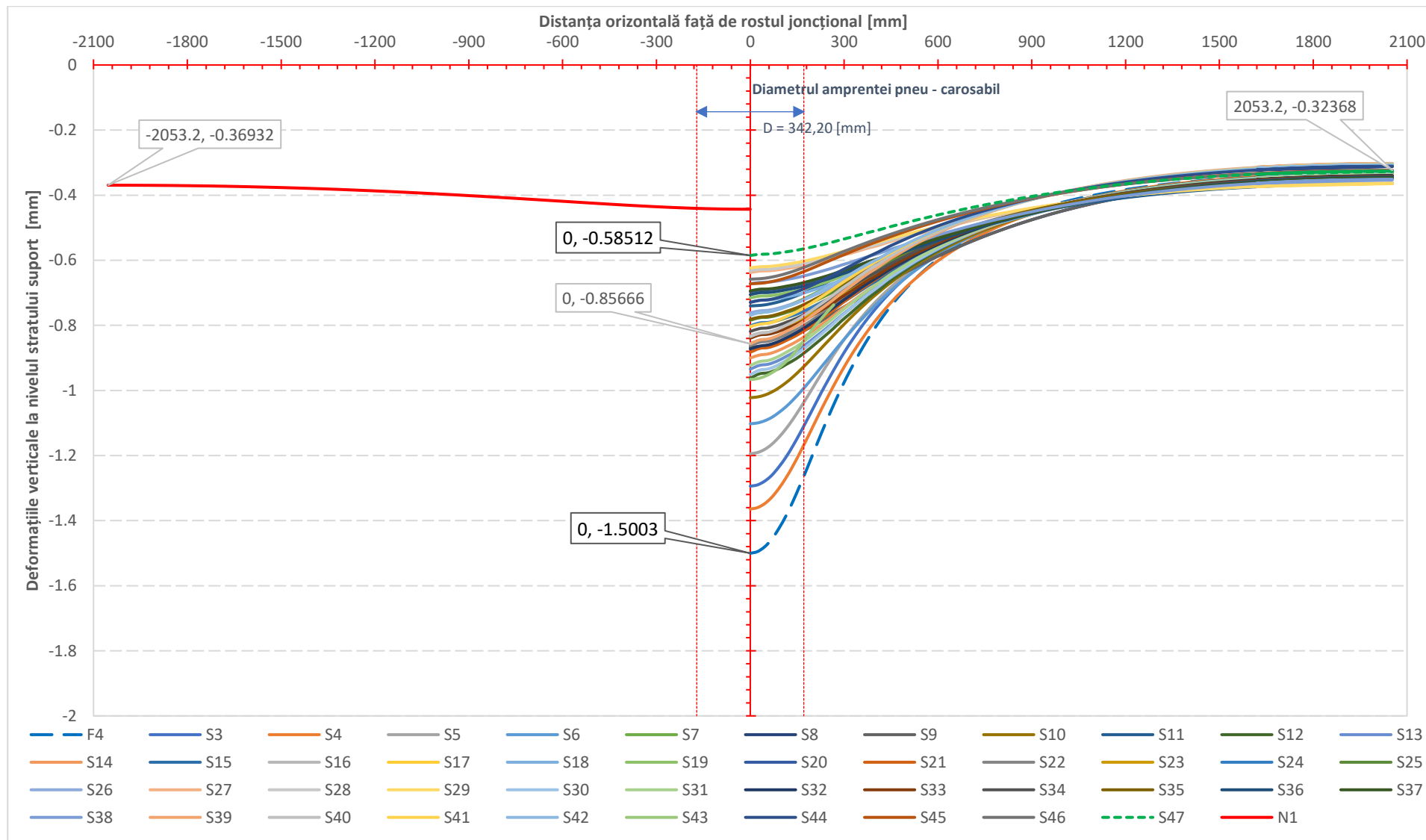


Figura 5.53. Variațiile deformațiilor verticale calculate la nivelul superior al straturilor suport aferente structurilor F4, S 11 - 47, N1

The variations of the vertical deformations on the subgrade layers of the pavements F4, S11-47, N1

În Figura 5.54 se prezintă deformațiile verticale calculate în punctele de intersecție ale axei de simetrie, aferente muchiilor superioare ale straturilor de uzură, pentru structurile F4, S1 – 47 și N1. De asemenea, pentru structurile rutiere menționate sunt prezentate și deformațiile verticale aferente stratului suport (P3). Pentru a facilita interpretarea Figurii 5.54 se impune divizarea graficelor în grupe ce prezintă caracteristici similare. Astfel, în prima parte (stânga) se identifică faptul că prima structură rutieră, F4, reprezintă „punctul de start” al propunerilor privind îmbunătățirea capacității portante a acestei structuri inițiale. În partea dreapta se regăsesc ilustrate deformațiile verticale aferente stratului de uzură și stratului suport pentru structura N1. Astfel, între cele două structuri rutiere se regăsesc soluțiile propuse S1 – S47. Acestea se divizează în cinci grupe. În prima grupă sunt prezentate deformațiile verticale aferente structurilor S1 – S11. Structura rutieră din prima grupă care dezvoltă cea mai redusă tasare este S11. Practic această performanță este atinsă atunci când structura drumului forestier preia aceeași îmbrăcăminte ca a drumului național și este armată cu geogriile. În cea de-a doua grupă sunt încadrate soluțiile S12 – S20 și reprezintă structurile la care variază componența îmbrăcăminte și a stratului de formă aferent. Astfel, se observă că reducerea minimă a tasărilor este realizată de structura S12 și este în valoare procentuală de 16,19%. Oricum această valoare este relativ apropiată de performanța maximă înregistrată de structura S3, ce face parte din prima grupă. În schimb structura S20 dezvoltă o reducere a tasărilor de 54,91%. În cea de-a treia grupă sunt expuse tasările aferente straturilor de uzură respectiv fundație pentru structuri similare cu cele din grupa anterioară dar care prezintă geogrilă la contactul dintre stratul de fundație și de uzură. În acest context, structura S 21 dezvoltă o reducere a tasărilor de 26,01%, iar reducerea maximă a deplasărilor verticale este realizată de structura S29 și este în valoare procentuală de 59,54%. Această ultimă performanță este obținută în cazul în care structura F4 împrumută aceeași îmbrăcăminte rutieră de la N1 și este armată cu o geogrilă în zona de contact dintre straturile de fundație și uzură. Cea de-a patra grupă prezintă structurile rutiere care sunt armate cu o geogrilă amplasată la contactul strat de fundație – strat de formă. Se pare că cel mai bun comportament privind reducerea tasărilor verticale îl dezvoltă structura S 38. Astfel, reducerea tasărilor este de 56,65%. Comparând această valoare cu reducerea realizată de S29, se observă o puternică influență a locului în care se poziționează geogriila. În cea de a cincea grupă și cea din urmă, se observă tasările aferente structurilor S39 – S47. Aceste structuri prezintă două geogriile amplasate în următorul mod: o geogrilă este amplasată la nivelul superior al stratului de fundație iar cea de-a doua este amplasată la nivelul superior al stratului de formă. În mod cert această nouă stratificație dezvoltă cele mai bune reduceri ale tasărilor. Spre exemplu, structura S39 dezvoltă o reducere a tasărilor în valoare de 30,06%. Continuând analiza asupra reducerii deplasărilor verticale se constată că ultimele trei structuri din grupa cinci prezintă cele mai bune rezultate. Astfel, structura S45 dezvoltă o reducere a tasărilor verticale aferente stratului de uzură de 60,12%. În schimb reducerea deplasărilor verticale aferente stratului suport, pentru aceeași structură, este de 60,00%. Structura S46 dezvoltă o reducere a tasărilor stratului de uzură cu 61,27%, iar pentru stratul suport se obține o reducere de 60,67%.

Aplicând același raționament și pentru soluția S47 se obține o reducere a tasărilor stratului de uzură de 62,43%, iar pentru stratul suport se obține o reducere de 60,67%. După cum se observă din analiza recent efectuată structura S47 realizează cea mai bună performanță privind reducerea tasărilor în comparație cu toate celelalte soluții tehnice impuse în cercetarea de față. Comparând aceste rezultate cu reducerea tasărilor obținute de N1 în comparație cu cele obținute de F4, se pare că structura rutieră ce reprezintă drumurile naționale dezvoltă o reducere a deplasărilor verticale aferente stratului de uzură de 70,52%, iar pentru stratul suport această reducere este de 70,67%.

Un alt aspect interesant este acela că deformațiile verticale aferente stratului suport sunt relativ mai apropiate de deformațiile verticale calculate la nivelul stratului de uzură în cazul în care structurile rutiere sunt mai puternic consolidate. Figura 5.55 reprezintă o sinteză privind compatibilitatea tasărilor ($CD_{vS_{n/f}}$) realizate de rosturile joncționale formate din structurile rutiere impuse S1 – S47 și F4 cu structura etalon N1. Structura compozițională aferentă Figurii 5.55 este similară cu cea expusă pe larg în cazul Figurii 5.54. Compatibilitatea deformațiilor verticale aferente straturilor de uzură în cazul rostului joncțional F4 - N1 este de 29,31%, iar pentru tasările calculate la nivelul stratului suport este de 29,54%. În cazul rostului joncțional S1 – N1 se obține o compatibilitate a tasărilor aferente straturilor de uzură cu 7,59% mai mare, iar pentru rostul S2 – N1 se obține un aport la compatibilitate față de cea a rostului F4 – N1 cu 25,25%. În cazul în care se utilizează două geogriduri pentru structura forestieră se obține o compatibilitate a tasărilor aferente straturilor de uzură de 37,47%, iar în cazul în care se adaugă un strat de uzură din MASF 16 și un strat de fundație din BAD 20 se obține o compatibilitate pentru rostul S11 – N1 de 67,26%. Urmărind (de la stânga la dreapta în Figura 5.55) se constată că începând cu S12 – N1 compatibilitățile tasărilor aferente stratului suport, pentru anumite structuri, sunt mai mari comparativ cu cele ale straturilor de uzură. Se pare că un aport în acest sens îl are stratul de formă. Structurile S45, S46 și S47 prezintă stratificații similare cu excepția stratului de formă care este un pământ P3 stabilizat cu var, zgura – var și ciment. Astfel aceste structuri prezintă pe rând următoarele compatibilități cu N1 la nivelul stratului de uzură: 73,91%, 75,46% respectiv 77,89%, iar cele aferente stratului suport sunt: 74,01%, 74,62% respectiv 75,74%. Cu alte cuvinte aceste ultime trei soluții prezintă un aport de compatibilitate privind tasările la nivelul stratului de uzură de 44,60%, 46,14% respectiv 48,57%. De asemenea, aporturile de compatibilitate la nivelul stratului suport sunt: 44,47%, 45,08% respectiv 46,20%.

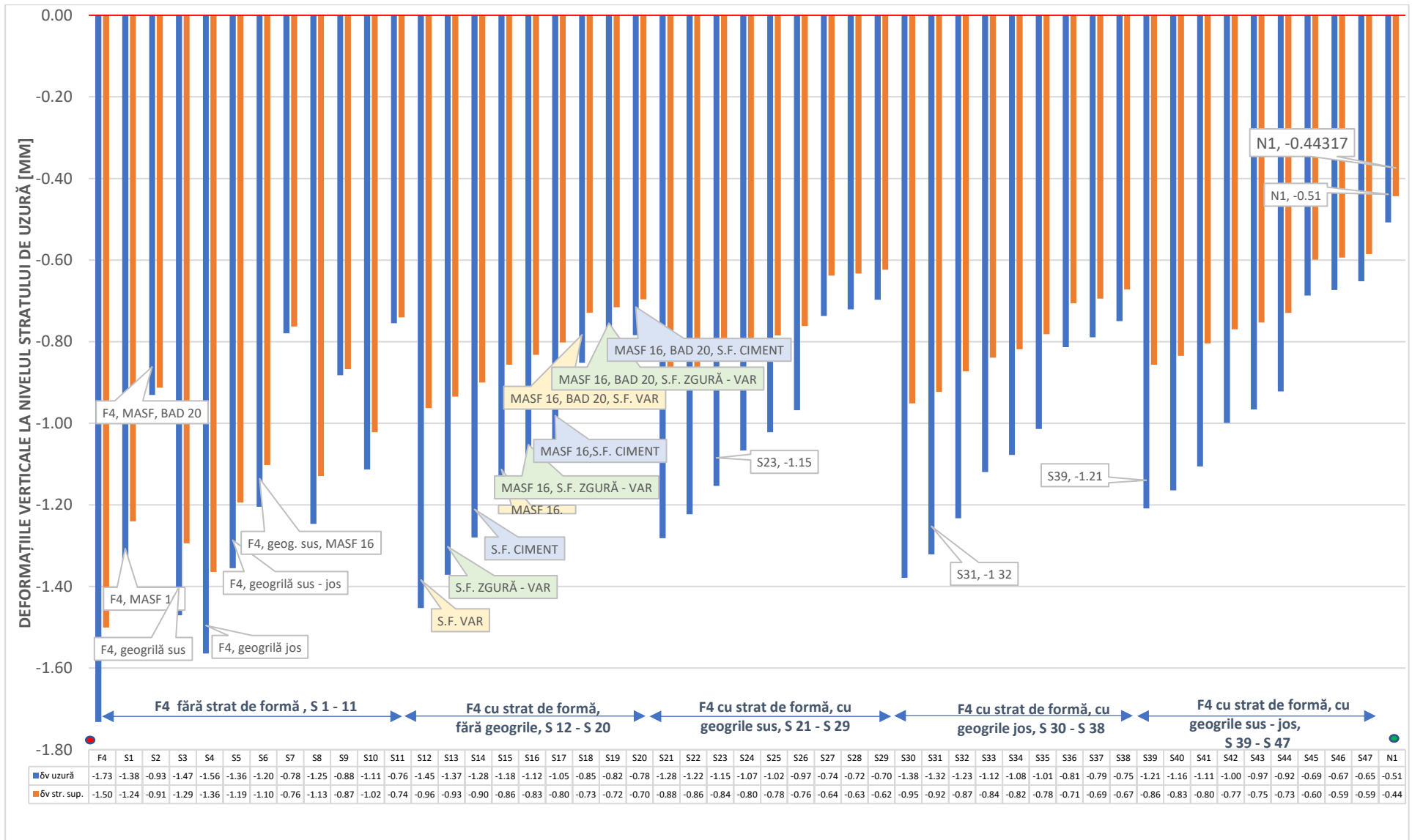


Figura 5.54. Deformațiile verticale calculate la nivelul superior al straturilor de uzură și suport aferente structurilor F4, S 1 - 47, N1
The vertical deformations for the surface and subgrade layers of the pavements F4, S1-47, N1

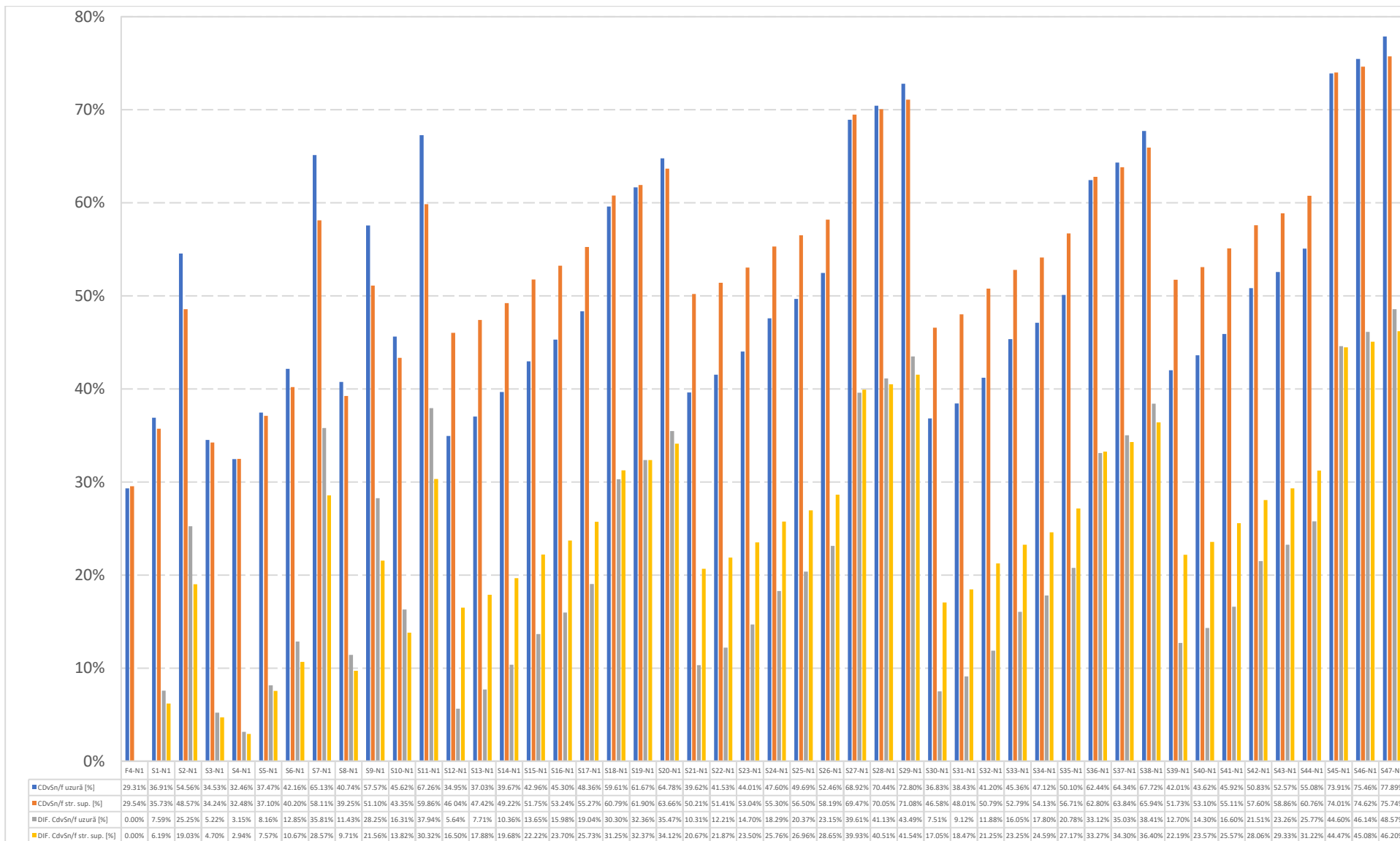


Figura 5.55. Compatibilitățile deformațiilor verticale calculate la nivelul superior al straturilor de uzură respectiv stratului suport pentru structurile F4, S1 - 47, N1
The compatibilities of vertical deformations for the surface and subgrade layers of the pavements F4, S1-47, N1

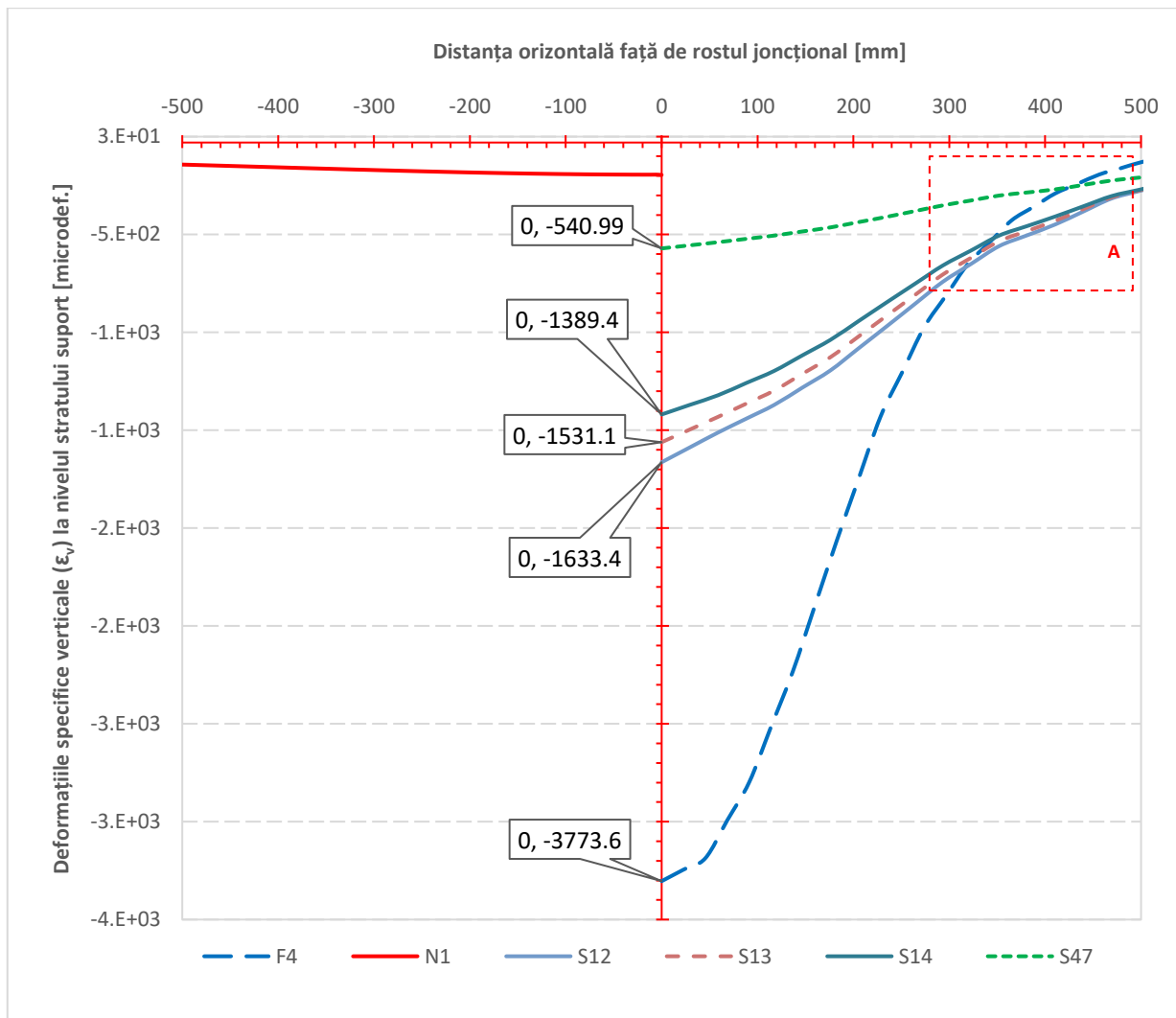


Figura 5.56. Variațiile deformațiilor specifice verticale la nivelul straturilor suport aferente structurilor rutiere F4, N1, S12 - 14

The variations of vertical strains for the subgrade layers of the pavements F4, N1, S12-14

Variația deformațiilor specifice ε_v pentru structurile F4, S12 -14 și N1 se observă în Figura 5.56. Analizând variațiile deformațiilor specifice încadrate în zona A, se observă modul în care structurile rutiere ce dețin o consolidare relativ mai puternică prezintă o variație apropiată de o formă liniară. Astfel, pentru aceste structuri se înregistrează deformații specifice ε_v mai ridicate în zona A, Figura 5.56, comparativ cu rezultatele aferente F4. Totuși, structura S47 se prezintă a fi soluția care reușește să remedieze acest aspect.

În Figura 5.57 se prezintă variațiile deformațiilor specifice ε_v aferente structurilor F4, S3 - S47. Interesant este modul de grupare al graficelor ținând cont de forma acestora. Astfel, structurile F4 și S3 - 11 prezintă grafice de formă preponderent curbilinie, iar graficele aferente celorlalte soluții structurale prezintă forme aproximativ liniare. Această menționare este o consecință a modului de consolidare realizat de către stratul de formă. Desigur, aceste aspecte pot fi urmărite în detaliu și în 5.58.

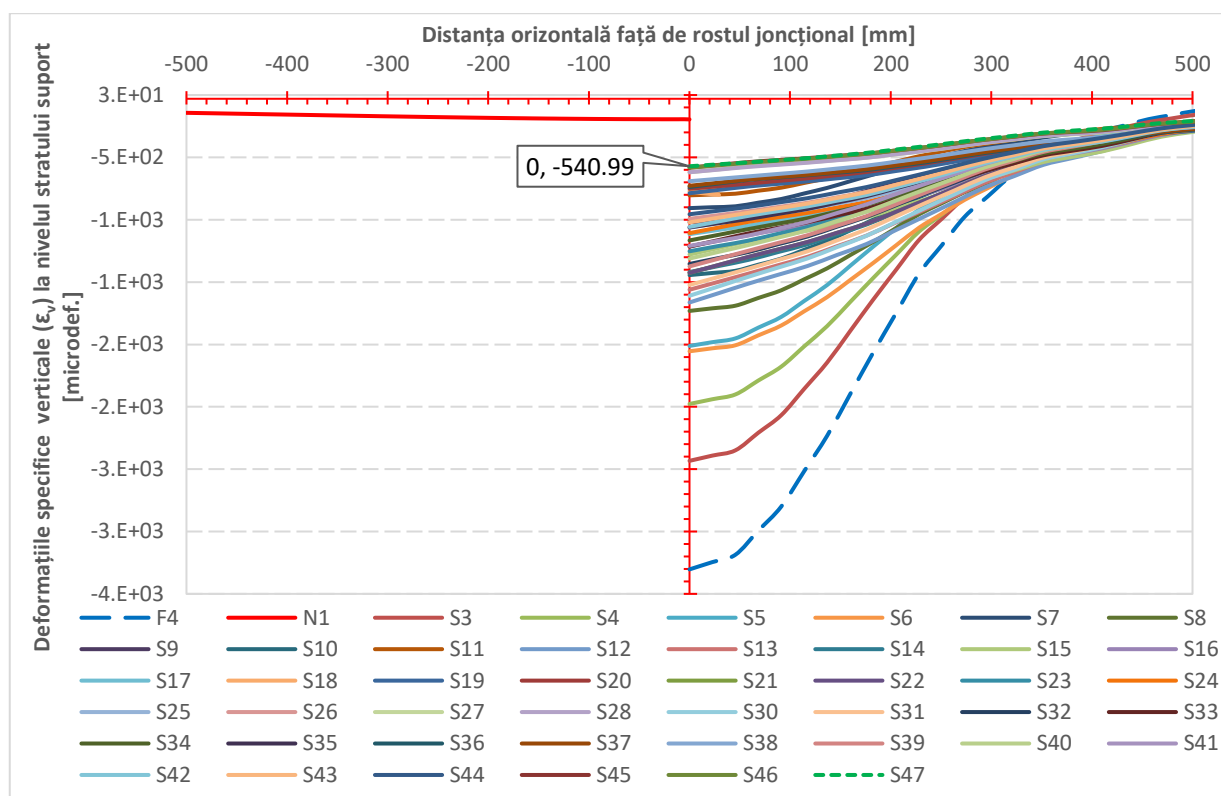


Figura 5.57. Variațiile deformațiilor specifice verticale la nivelul straturilor suport aferente structurilor rutiere F4, N1, S3 - 47

The variations of the vertical strains for the subgrade layers of the pavements F4, N1, S3 - 47

Modul de prezentare a deformațiilor specifice ε_v pentru stratul suport este prezentat în Figurile 5.57 și 5.58. Valorile $CM_{vS_n/f}$ dezvoltate la nivelul stratului suport, aferente rosturilor joncționale formate de soluțiile structurale S1 - S47 și F4 cu N1, sunt prezentate prin grafice individuale în Figura 5.59. Rezultatele procentuale prezentate în rândul superior (aferente primelor coloane) reprezintă efectiv valorile compatibilităților rosturilor joncționale, iar în rândul inferior sunt prezentate diferențele dintre compatibilitatea deformațiilor specifice verticale (ε_v) aferente rostului joncțional inițial F4 - N1 și compatibilitățile deformațiilor rosturilor joncționale F4 - S1 - 47. În acest sens cea mai redusă compatibilitate este realizată de rostul F4 - N1 și este în valoare de 4,39%. În ordine crescătoare, următorul rost joncțional este S3 - N1 cu un procent de 5,70%. Structura S1 dezvoltă o compatibilitate cu N1 de 6,52%. Astfel se pare că stratul de uzură împrumutat de la structura N1 conferă o compatibilitate mai mare comparativ cu cazul în care structura F4 se armează cu geogrila în zona de contact strat de uzură - strat de fundație. Dintre soluțiile prezentate, se pare că similar cu compatibilitatea tasărilor, rostul joncțional S47 - N1 prezintă și cea mai bună compatibilitate a deformațiilor specifice ε_v , aceasta fiind în valoare de 30,59% cu un aport de 26,20% față de rostul inițial F4 - N1. Urmărind ciclicitatea rezultatelor din Figura 5.59 se observă că cele mai bune rezultate se obțin când structura este armată cu două geogriile.

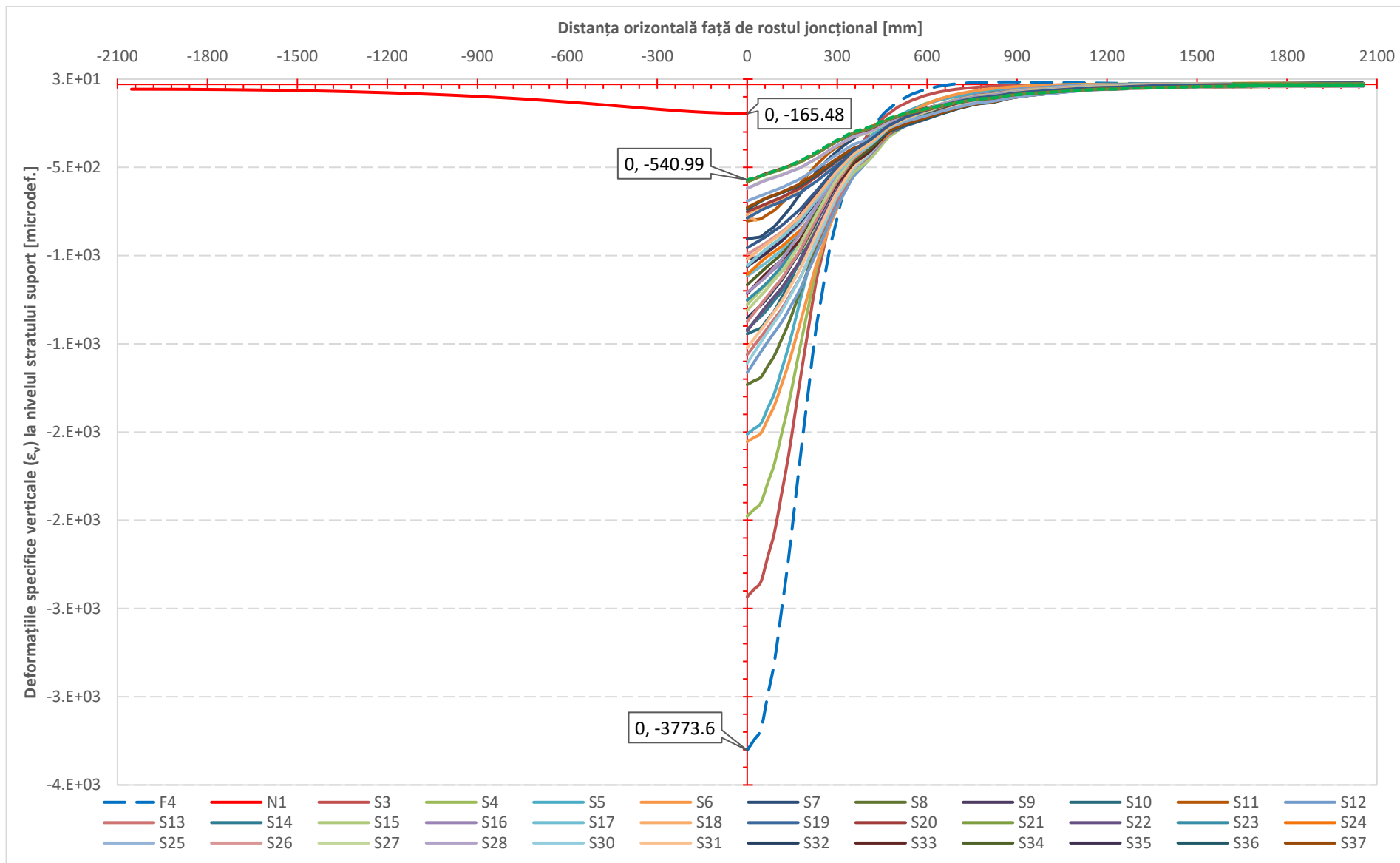


Figura 5.58. Valorile deformațiilor specifice verticale calculate la nivelul superior al stratului suport aferent structurilor F4, S3 - 47, N1
The variations of the vertical strains for the subgrade layers of the pavements F4, S3 - 47, N1

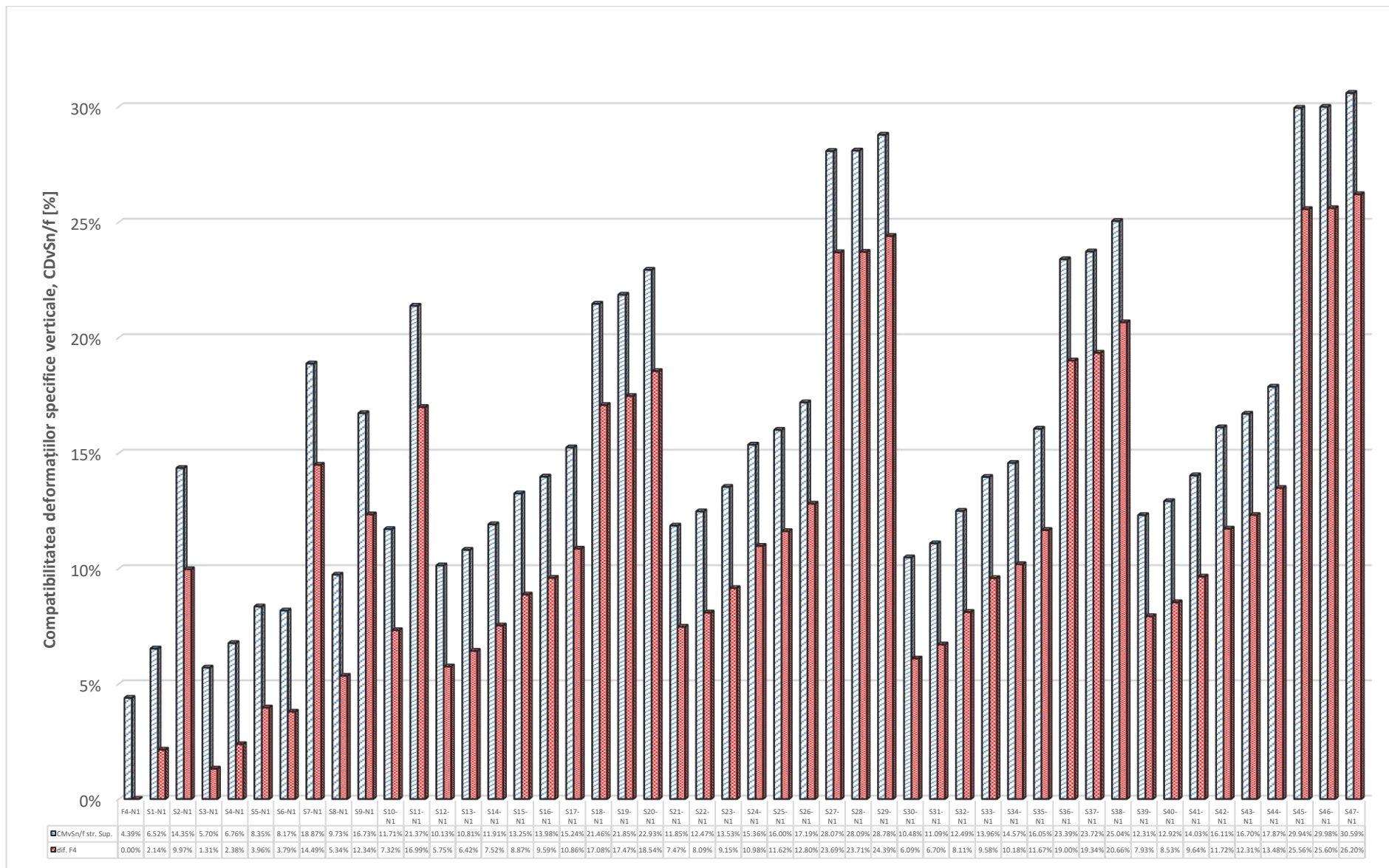


Figura 5.59. Compatibilităţile deformaţiilor specifice verticale calculate la nivelul superior al stratului suport aferent structurilor F4, S1 - 47, N1
The compatibilities of the vertical strains calculated for the subgrade layers of the pavements F4, S1 - 47, N1

5.2.6. Utilizarea rezultatelor obținute în practica din domeniu. Întocmirea unei metode de calcul al unui rost joncțional progresiv

În continuare se va prezenta modul în care rezultatele obținute pot avea utilitate practică imediată. În acest sens se va prezenta metodologia de calcul al unui rost progresiv ce realizează „racordarea” structurală dintre o structură rutieră ce aparține drumurilor naționale (din România) și o structură rutieră ce aparține drumurilor forestiere.

Calculul rostului progresiv pentru F4 – N1 cuprinde următoarele etape:

A. Ipoteze de calcul:

- structura rutieră ce aparține drumului național este semirigidă prezentând caracteristicile structurii N1 din Figura 5.3;
- structura rutieră ce aparține drumului forestier este flexibilă și este reprezentată cu denomi-națiunea F4 din Figura 5.3;
- compatibilitatea inițială a tasărilor aferente rostului F4 -N1 este de 29,48%;

B. Condiții impuse

- în prima parte a drumului forestier se dorește ca structura rutieră să prezinte îmbrăcăminte asfaltică;
- pentru a se asigura o suprafață a părții carosabile optimă, din punct de vedere al caracteristicilor de rugozitate și planeitate, se impune ca stratul de uzură din mixtură asfaltică (aferent drumului forestier) să prezinte o lungime mai mare comparativ cu cea a stratului de legătură realizat, de asemenea, din mixtură asfaltică;
- straturile rutiere aferente rostului progresiv să prezinte lungimile necesare operațiunilor de execuție;
- compatibilitatea deformațiilor verticale ($CD_v S_{n/f}$) a rosturilor joncționale ($R_s J$) intermediare să fie de minim 70%;
- rostul joncțional intermediar să prezinte un număr minim de structuri rutiere intermediare.

C. Rezolvare

Având în vedere atât faptul că se dorește ca drumul forestier să împrumute îmbrăcămintea rutieră a drumului național cât și rezultatele anterior obținute se impune ca prima structură intermediară să fie S47.

$$R_s J^1: N1 - S47 \Rightarrow CD_v^1 = \delta_v^{N1} / \delta_v^{F4} \Rightarrow CD_v^1 = 77,89\%$$

$$\text{Verificare: } 77,89\% > 70,00\% \checkmark$$

$$R_s J^2: S47 - S44 \Rightarrow CD_v^2 = \delta_v^{S47} / \delta_v^{S44} \Rightarrow CD_v^2 = 70,65\%$$

Verificare: $70,65\% > 70,00\%$ ✓

$R_s J^3: S44 - S26 \Rightarrow CD_v^3 = \delta_v^{S44} / \delta_v^{S26} \Rightarrow CD_v^3 = 94,85\%$

Verificare: $94,85\% > 70,00\%$ ✓

$R_s J^4: S26 - S17 \Rightarrow CD_v^4 = \delta_v^{S26} / \delta_v^{S17} \Rightarrow CD_v^4 = 92,38\%$

Verificare: $92,38\% > 70,00\%$ ✓

$R_s J^5: S17 - S14 \Rightarrow CD_v^5 = \delta_v^{S17} / \delta_v^{S14} \Rightarrow CD_v^5 = 82,03\%$

Verificare: $82,03\% > 70,00\%$ ✓

$R_s J^6: S14 - F4 \Rightarrow CD_v^6 = \delta_v^{S14} / \delta_v^{F4} \Rightarrow CD_v^6 = 73,99\%$

Verificare: $73,99\% > 70,00\%$ ✓ STOP

Rezolvarea unui calcul privind compatibilităţile tasărilor aferente rosturilor jonţionale intermediare presupune un proces iterativ prin care sunt alese structurile rutiere intermediare. Astfel, luând în considerare condiţiile impuse iniţial, se aleg mai multe structuri rutiere intermediare ţinând cont de rezultatele prezentate anterior. Poziţiile succesive sunt ocupate de structura ce realizează cea mai mare compatibilitate. Acest proces iterativ se încheie în momentul în care ultima structură rutieră intermediară realizează compatibilitatea dorită cu structura ce aparţine drumului forestier.

Rostul jonţional progresiv ale cărui compatibilităţi sunt calculate mai sus este prezentat schematic în Figura 5.60. După cum se observă în această figură stratul de uzură aferent rostului este alcătuit doar din două materiale şi anume: MASF 16 şi macadam. Primele trei structuri rutiere intermediare (S47, S44, S26) prezintă armare cu geogrila în zona de contact strat de uzură – strat de fundaţie. Stratul de fundaţie este alcătuit din BAD 20 pentru prima structură intermediară, după care acesta este alcătuit doar din balast. Pentru a se realiza o cât mai relevantă consolidare a drumului forestier, în zona de contact strat de fundaţie – strat de formă se amplasează al doilea “braţ” al geogrilei. S-a optat pentru forma continuă a geogrilei din următoarele motive: utilizarea geogrirelor se realizează pe lungimi relativ reduse, încăstrarea geogrirelor în stratul BAD 20 conferă o mai bună rigidizare şi punerea în operă se efectuează cu facilitate. Stratul de formă este de aceeaşi natură pentru toate structurile rutiere intermediare. Acest aspect este deosebit de important în faza de execuţie a rostului jonţional progresiv. Interesant este modul de alăturare a structurilor intermediare prin care s-au format straturi ce prezintă continuitate. Practic, acest rost progresiv nu este realizat din “frânturi” aferente structurilor rutiere intermediare, ci prezintă straturi intercalate pe lungimea joncţiunii.

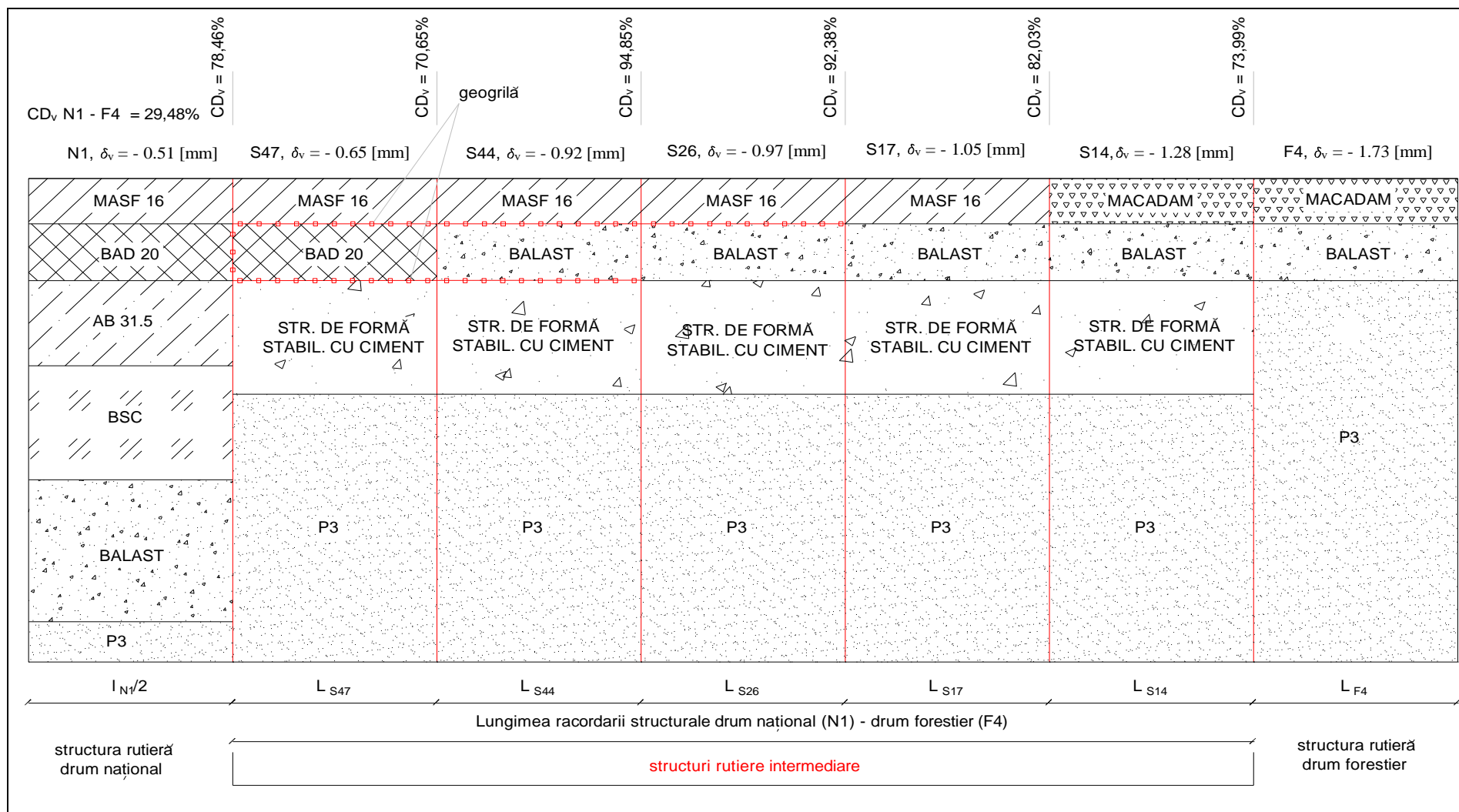


Figura 5.60. Exemplul de calcul pentru un rost joncțional progresiv (autorul)
Example of calculation for a progressive junction

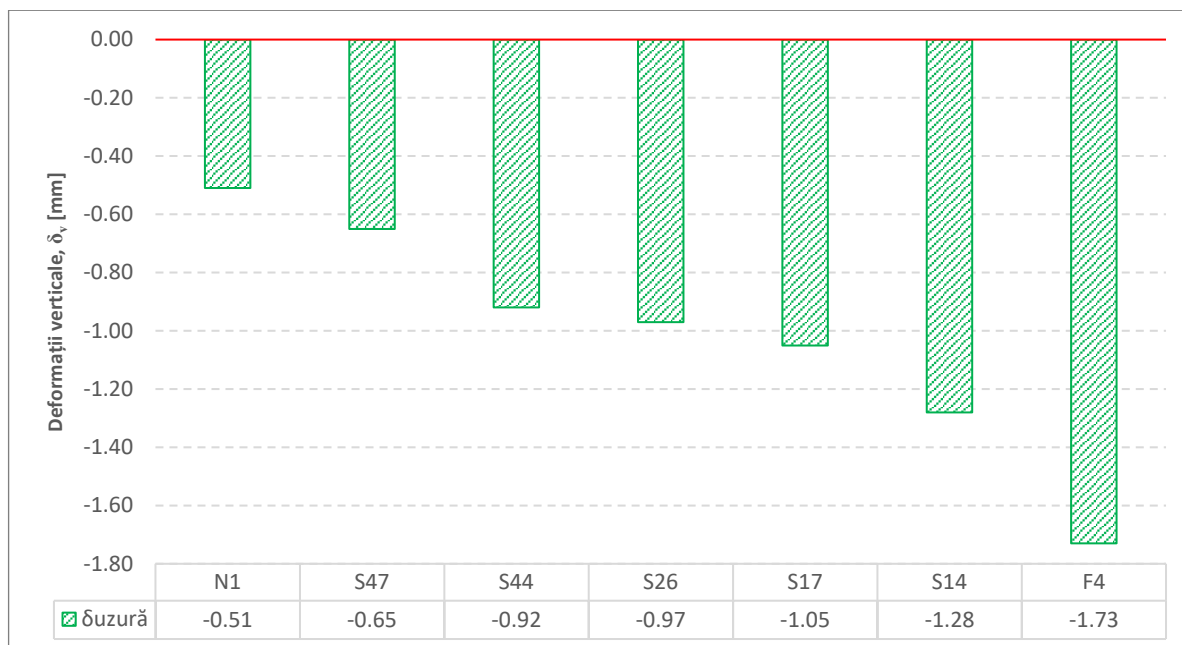


Figura 5.61. Deformațiile verticale calculate la nivelul straturilor de uzură aferente rostului joncțional calculat
The vertical deformations for the surface layers of the junction

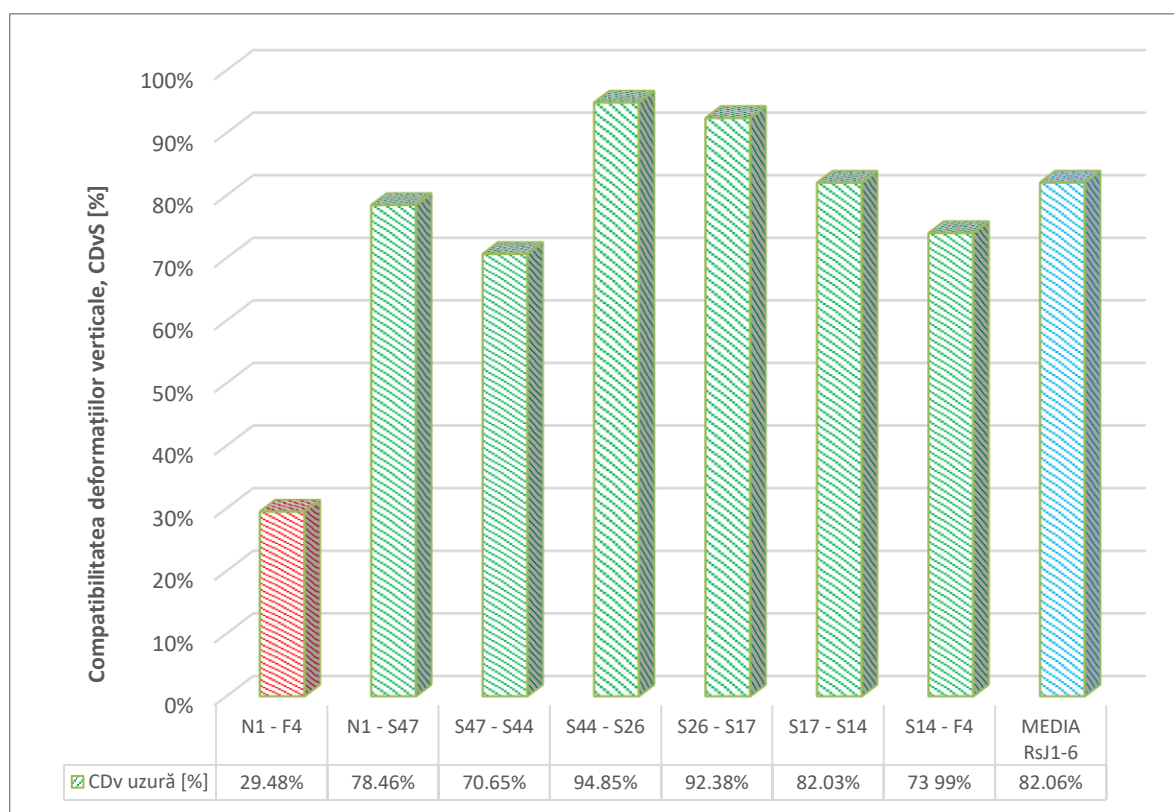


Figura 5.62. Compatibilitățile tasărilor verticale aferente racordării progresive
The compatibilities of vertical deformations for the progressive junction

În Figurile 5.61 și 5.62 se prezintă atât deformațiile verticale aferente structurilor rutiere intermediare pentru rostul joncțional progresiv calculat anterior cât și compatibilitățile deformațiilor verticale aferente rosturilor intermediare. Se observă că prin metodologia propusă s-a reușit îmbunătățirea compatibilității unui rost joncțional format de un drum forestier cu un drum

național de la valoarea inițială 29,48% la valoarea medie a rosturilor joncționale intermediare de 82,06%.

Execuția etapizată a rostului joncțional progresiv este prezentată în Figura 5.63. Pentru a facilita descrierea fazelor de execuție se menționează că structura rutieră aferentă drumului național se consideră a fi construită anterior construcției drumului forestier. Așadar, categoria lucrărilor la drumul forestier poate fi de reabilitare (fără păstrarea zestrei drumului) sau de construcție a unui drum nou. De asemenea, se consideră că anterior execuției rostului joncțional progresiv, execuția drumului se afla la stadiul în care s-au efectuat lucrările de decopertare a stratului vegetal până la terenul bun de fundare (P3). În prima fază de execuție a rostului joncțional progresiv se consideră că se execută lucrările aferente stratului de formă din balast stabilizat cu ciment. În acest sens se excavează volumul de pământ natural aferent suprafeței rostului pe o adâncime de 20 cm. După această fază are loc execuția propriu-zisă a stratului de formă. În cazul în care stabilizarea cu ciment a stratului de balast se efectuează mecanic, se impune efectuarea următoarelor lucrări: așternerea și nivelarea materialului granular (balast), răspândirea liantului hidraulic (ciment cu concentrația 6%) după care are loc operația de omogenizare mecanică. După efectuarea acestor etape se realizează compactarea până la obținerea gradului de compactare impus de către documentația tehnică aferentă. În faza a doua se efectuează pozarea unui braț al geogriței pe stratul de formă, celălalt braț fiind lăsat liber și așezat către exterior. Cea de a treia fază de execuție presupune execuția stratului de fundație (BAD 20 respectiv balast). Bineînțeles, și această fază presupune executarea operațiilor de așternere, nivelare și compactare a stratului nou executat. Faza a patra impune fixarea brațului superior al geogriței pe stratul de fundație executat. Pentru a facilita execuția rostului se impune ca geogrița să fie tăiată la dimensiunile stabilite. Pentru stabilirea lungimii se poate aplica cu ușurință următoarea formulă: $L_{geo} = 2 \times (L_{S47} + L_{S44}) + L_{S16} + h_{strat\ de\ fundație}$, unde L_{S47} , L_{S44} , L_{S16} reprezintă lungimile pe care se aplică structurile respective, iar $h_{strat\ de\ fundație}$ reprezintă grosimea stratului de fundație, în cazul de față prezintă valoarea 10 cm. În cea de a patra fază se execută stratul de uzură aferent rostului joncțional progresiv. Pentru rostul rezultat din calculul efectuat anterior, stratul de uzură este format din două părți. În prima parte se efectuează execuția unui strat din MASF 16, după care se execută cel din macadam. Practic, după efectuarea stratului de uzură din MASF 16 se inițiază execuția stratului de uzură din macadam ce va continua până la sfârșitul traseului drumului forestier. Lungimile aferente fiecărei structuri rutiere intermediare vor fi stabilite de proiectant în funcțiile de condițiile impuse de beneficiar. Oricum, se recomandă că aceste lungimi să nu fie mai mici de 3,00 m, deoarece, în urma rezultatelor obținute în acest capitol, s-a constatat că la o distanță de aproximativ 2,05 m de axa de simetrie a modelelor 2D FEM utilizate se resimt tasări relativ mari. Această condiție este utilă pentru ca eforturile dezvoltate de osia standard să nu se resimtă și pe rosturile joncționale adiacente.

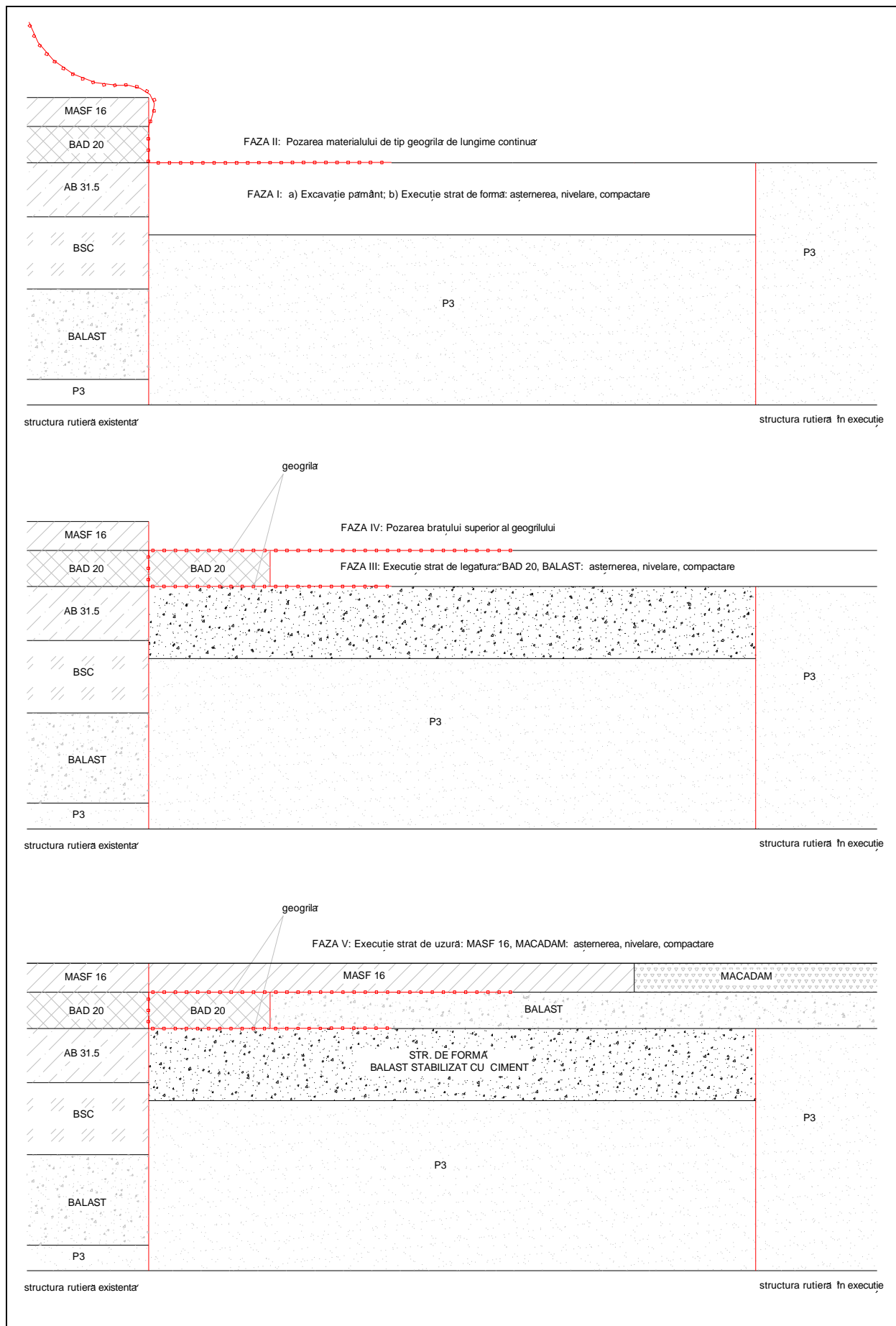


Figura 5.63. Faze de execuție ale rostului joncțional progresiv F4 - N1 (autorul)
The execution phases of progressive junction F4 - N1

VI. Concluzii finale. Contribuţii originale. Diseminarea rezultatelor. Direcţii viitoare de cercetare

6.1. Concluzii finale

Având în vedere obiectivele propuse, în partea finală a lucrării se evidențiază succint concluziile privind rezultatele obținute. Acestea fac referire la următoarele aspecte:

1. Determinarea elementelor geometrice ale intersecțiilor formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale, situate pe raza județului Braşov:

a. Pe raza județului Braşov s-au identificat și măsurat un număr de 41 de intersecții formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale. Dintre drumurile forestiere doar 32% prezintă îmbrăcăminte asfaltică în zona de joncțiune.

b. Unghiurile aferente acestor intersecții au valori cuprinse între $21,70^\circ$ și $89,53^\circ$ cu o medie de $64,95^\circ$. Există două intersecții la care valoarea unghiului este sub 30° : DN 13 – D 880 prezintă valoarea de $29,60^\circ$ și DN 1A – D 155 cu valoarea de $21,70^\circ$.

c. Valorile lățimilor drumurilor forestiere în zona intersecției variază de la o valoare minimă de 4,60 m (pentru intersecția DN 73A – D 160) la o valoare maximă de 37,65 m (pentru intersecția DN 1A – D 178). Valoarea medie aferentă lățimilor drumurilor forestiere este de 14,56 m, iar pentru drumurile naționale este de 7,75 m.

d. Valorile razelor minime ale curbilor orizontale pentru drumurile forestiere sunt cuprinse între 6,10 m, ce caracterizează intersecția DN 1 – D 110, și 109,70 m, valoare care aparține intersecției DN 13 – FE 014. Media tuturor valorilor este 32,66 m. Pentru drumurile naționale, media valorilor este de 5 ori mai mare.

e. Valorile indicelui de sinuozitate în planul orizontal al traseelor aferente drumurilor forestiere variază de la o valoare minimă de 7,54% pentru intersecția DN 13 – FE 41, la o valoare maximă de 71,43%, pentru intersecția DN 73 – D 76. În cazul drumurilor naționale, valoarea minimă este de 20,36%, iar valoarea maximă este de 85,92%. Media valorilor aferente drumurilor forestiere este de 46,29%, iar pentru drumurile naționale este de 49,54%.

f. Valoarea maximă a declivităților în rampă este de 10,40% și este reprezentată de intersecția realizată de drumul forestier D 4 cu drumul național DN 13. Valoarea minimă a declivităților longitudinale în pantă, aferente pasului de proiectare specific drumurilor forestiere din zona rostului joncțional, este de $-9,30\%$ și este reprezentată de intersecția DN 1 -D 186. Valoarea maximă a mediilor ponderate pentru declivitățile longitudinale ale drumurilor forestiere este de 10,40%, iar cea a drumurilor naționale 7,90%.

g. Valorile indicelui de sinuozitate verticală pentru drumurile forestiere prezintă valoarea maximă de 79,56% în cazul drumului forestier FE 043, și o valoare minimă de 4,47% , caracteristică pentru linia roșie a profilului longitudinal al drumului D 155. În ceea ce privește drumurile naționale

intersectate, se observă că valoarea maximă este de 67,33%, și aparține segmentului de drum național al intersecției DN 1 – D 6. Valoarea minimă este de 3,05% și caracterizează segmentul de drum național al intersecției DN 13 – D 76.

2. Analiza modului în care traficul auto forestier se integrează în fluxul de trafic rutier desfășurat pe drumul public (național):

a. Metoda vehiculului martor, monitorizat cu receptoare GNSS, s-a dovedit utilă în determinarea parametrilor ce caracterizează traficul forestier în intersecțiile formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale. Aceasta prezintă următoarele avantaje:

- nu impune utilizarea de echipamente suplimentare (de exemplu: camere video, radar etc.);
- prin procesarea secvențelor NMEA se obțin cu o acuratețe ridicată valorile aferente vitezei de deplasare;
- valorile temporale sunt preluate de la sateliți (ce dețin ceasuri atomice) și prezintă cea mai ridicată precizie, fapt pentru care și alte determinări, precum variația accelerației (variația vitezei în funcție de timp), sunt efectuate cu acuratețe sporită;
- datele înregistrate se obțin în lungul traseului aferent manevrelor efectuate în intersecțiile formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale;

b. Metoda ce utilizează viteza v_{15} , în determinarea valorilor de timp și distanță necesare integrării unui vehicul forestier în fluxul de trafic aferent drumului național, s-a dovedit a fi utilă din următoarele considerente:

- în calculul datelor se ține cont de condițiile reale de circulație impuse de traficul rutier și de caracteristicile geometrice ale traseului parcurs;
- obiectivitatea determinărilor este ridicată, deoarece nu include observator uman;
- viteza v_{15} este recunoscută la nivel științific mondial, ca fiind viteza limită la care vehiculul reprezintă un obstacol mobil pentru ceilalți participanți la trafic.

c. Pentru intersecțiile studiate s-a constatat că vehiculul implicat în teste (camion și remorcă), fără încărcare utilă, ce accede prin virare la dreapta pe drumul forestier din drumul național, incomodează traficul aferent drumului public, cu 18,92 s și 95,96 m înainte ca partea din spate a remorcii să părăsească drumul național. Aceste date reprezintă valori medii. În general, valorile variază pentru fiecare șofer și tip de intersecție. Similar, pentru manevra de accesare pe drumul forestier prin virare la stânga s-au obținut valorile medii 15,27 s și 67,76 m.

d. În cazul în care vehiculul forestier (camion și remorcă), încărcat cu sarcină utilă maximă, părăsește drumul forestier prin virare la stânga, acesta se află la nivel de obstacol, pentru traficul desfășurat pe drumul public, pentru o durată de 57,46 s și pe o lungime de 368,88 m. Valorile reprezintă valori medii și sunt reprezentative pentru intersecțiile studiate. Oricum, valorile maxime înregistrate sunt 77,92 s și 499,14 m.

e. Analizând rezultatele obținute pentru cazul vehiculului forestier descărcat, s-a constatat că pentru o reducere a unghiului intersecției de 52,86%, vehiculul martor descărcat a efectuat manevra de accesare a drumului național prin virare la stânga și a atins viteza v_{15} , pe o durată de timp cu 61,20% mai mare, respectiv pe o distanță mai mare cu 80,22%. Similar, pentru aceeași reducere a unghiului intersecției, vehiculul martor încărcat cu sarcina utilă maximă s-a integrat în fluxul de trafic aferent DN într-un timp cu 66,96% mai mare, iar distanța a crescut cu 59,67%. Această similaritate denotă și acuratețea măsurărilor.

3. Rezultate și soluții privind calculul și îmbunătățirea funcționalității rostului joncțional drum forestier – drum național utilizând metoda FEM

a. Modelarea matematică a rosturilor joncționale, formate de structurile drumurilor forestiere cu cele aferente drumurilor naționale, poate fi aplicată cu succes în anumite condiții simplificatoare. O metodă simplificată prevede că structurile rutiere aferente să fie alcătuite dintr-un singur strat amplasat într-un spațiu semiinfinit. Practic, rostul joncțional este alcătuit prin alăturarea a două straturi ce prezintă caracteristici fizico – mecanice identice. Sarcinile verticale aferente contactului pneu – carosabil sunt aplicate simetric pe rostul joncțional. Determinarea cât mai exactă a parametrilor ce definesc starea de efort – deformație, dezvoltată în straturile rutiere, se poate realiza utilizând metoda 2D FEM.

b. Metoda elementului finit axial simetrică (2D FEM), utilizată în calculul structurilor rutiere, dezvoltată cu ajutorul soft-ului Ansys™, prezintă o serie de avantaje în comparație cu soft-ul românesc Calderom™, impus de reglementările în vigoare. Avantajele metodei 2D FEM sunt:

- realizează calculul pentru orice tip de structură rutieră (flexibilă, semirigidă și rigidă), spre deosebire de soft-ul românesc Calderom 2000™, care efectuează doar calculul structurilor rutiere flexibile și semirigide;
- grosimile și caracteristicile fizico – mecanice ale straturilor rutiere pot varia. Modul de comportare al materialelor poate fi, de asemenea, variat: elastic, vâsco-elastic, plastic. Soft-ul Calderom 2000™ poate efectua calcule doar în mediul elastic;
- încărcarea aplicată poate varia de la solicitări statice (concentrate sau uniform distribuite) la încărcări dinamice. De asemenea, intensitatea și suprafețele de aplicare pot varia în funcție de solicitările reale dezvoltate în trafic;
- metoda nu impune un număr minim de straturi rutiere, precum soft-ul Calderom™, care poate calcula o structură rutieră de maxim 5 straturi;
- pot fi incluși și alți factori care influențează comportamentul structurii rutiere, precum: temperatura și umiditatea. De asemenea, pot fi modelate solicitări dezvoltate de unele lucrări speciale (de exemplu: calculul structurii rutiere aferente pistelor de avion);
- rezultatele obținute cu această metodă sunt: deformațiile verticale, eforturile verticale și radiale, deformațiile specifice radiale și verticale. Aceste rezultate pot fi obținute în orice punct aflat

în secțiunea verticală a structurii rutiere. De asemenea, valorile rezultatelor pot fi exprimate punctual, liniar (de exemplu muchiile straturilor) sau pe suprafețe;

- resursele aferente calculului computerizat sunt reduse comparativ cu metoda 3D FEM.

c. Soluțiile fiabile privind îmbunătățirea capacității portante a structurilor drumurilor forestiere s-au dovedit a fi următoarele:

- soluții ce împrumută straturile de îmbrăcăminte asfaltică aferente structurii drumurilor naționale;

- soluții armate cu geogriile amplasate la diferite cote;

- soluții ce prevăd îmbunătățirea capacității portante a terenului de fundare prin realizarea unui strat de formă, obținut prin stabilizarea materialului existent cu var, zgură de termocentrală și ciment;

- soluții mixte realizate prin combinarea celor mai sus menționate.

d. Pentru rezultatele privind eforturile și deformațiile specifice radiale, metoda 2D FEM a prezentat o frecvență medie de o determinare la fiecare 5,60 mm, iar metoda Burmister o frecvență medie de o determinare la 5,09 mm. În schimb, pentru rezultatele privind deformațiile specifice verticale, determinările aferente metodei 2D FEM, s-au realizat pe adâncimea de 380 mm cu o frecvență medie de o determinare la 6,09 mm, iar pentru metoda Burmister, pentru aceeași adâncime, frecvența medie de calcul este de o determinare la 4,27 mm. Determinările în soft-ul Calderom 2000™ s-au efectuat prin iterații succesive.

e. Având în vedere rosturile joncționale formate de structura rutieră a drumurilor naționale cu structurile rutiere tipice drumurilor forestiere (denumite F1- F7) se constată următoarele:

- cea mai redusă valoare a compatibilităților deformațiilor verticale s-a obținut pentru rostul joncțional aferent structurii forestiere alcătuită din două straturi de balast (denumită F1). Compatibilitatea deformațiilor verticale ale straturilor de uzură este de 25,31%, iar compatibilitatea deformațiilor verticale pentru terenul de fundare este de 26,63%. Similar, cea mai eficientă structură aferentă drumurilor forestiere a fost cea care prezintă un strat de uzură din macadam asfaltic și un strat din balast (denumită F7). Valorile compatibilităților sunt 31,20% respectiv 31,07%;

- valorile compatibilităților deformațiilor specifice verticale pentru rosturile joncționale aferente structurilor F1 și F7 sunt 3,72% și 4,74%.

f. În cazul rosturilor joncționale formate de structura aferentă drumului public cu soluțiile ce prevăd utilizarea aceleiași îmbrăcăminți rutiere s-au obținut următoarele concluzii:

- Compatibilitatea tasării stratului de uzură, pentru cazul în care structura forestieră prezintă strat de uzură din MASF 16, este de 36,91%, iar compatibilitatea deformațiilor stratului suport este de 35,73%. Compatibilitatea deformațiilor specifice verticale dezvoltate la nivelul stratului de fundație este 6,52%;

- Similar, valorile privind compatibilitatea rostului joncțional la care structura forestieră prezintă ambele straturi de îmbrăcăminte identice cu structura drumului public sunt 54,56% respectiv 48,57%. Compatibilitatea deformațiilor specifice verticale este 14,35%;

g. În context științific internațional, utilizarea materialelor geosintetice reprezintă un real interes privind consolidarea structurilor rutiere. Cercetările demonstrează că prin utilizarea geogrilelor se reduc deformațiile verticale aferente suprafețelor structurilor rutiere cu 11% până la 54%, în funcție de grosimea stratului armat și de caracteristicile geogrilei.

h. Pentru soluțiile în care se utilizează armarea cu geogrile s-au constatat următoarele aspecte:

- pentru a obține o creștere a capacității portante a unei structuri rutiere formate din trei straturi (inclusiv terenul de fundare), se impune ca geogrila să fie amplasată între primele două straturi (soluția S3). În acest mod, tasările verticale ale stratului de uzură sunt reduse cu 15,11%. În situația în care geogrila este amplasată între straturile 1 și 2 (soluția S4) reducerea tasărilor este de 9,69%. În cazul în care se utilizează armarea cu două geogrile (între stratul 1 – stratul 2 și stratul 2 – teren de fundare) se obține o reducere de 21,77%. Valorile procentuale sunt exprimate în funcție de tasarea structurii forestiere F4;

- creșterea modului de elasticitate al geogrilei aferent soluției S5, de la 20000 MPa la 50000 MPa, induce o reducere a tasărilor de doar 4,09%. Similar se dezvoltă o reducere a tasărilor verticale și pentru soluțiile S3 și S4 cu valorile 3,41% respectiv 2,14%. Cu alte cuvinte, pentru o creștere aproximativă de peste 100% a valorii modului de elasticitate al geogrilei se obține o reducere aproximativă a tasării sub 4,10%;

- valorile maxime ale compatibilității rostului joncțional s-au obținut pentru cazul în care structura forestieră prezintă primele două straturi identice cu structura rutieră aferentă drumului public (S11) și armată cu două elemente de geogrilă. Astfel, compatibilitatea pentru deformațiile straturilor de uzură este de 67,26%, iar cea aferentă tasărilor dezvoltate la nivelul stratului de fundație este de 59,86%;

- compatibilitatea maximă aferentă deformațiilor specifice verticale de la nivelul stratului suport, dezvoltată de către soluția S11, este în valoare de 21,37% și reprezintă o creștere de 16,99% comparativ cu rostul joncțional inițial F4 – N1.

i. În cazul îmbunătățirii compatibilității rosturilor joncționale prin execuția unui strat de formă prin stabilizare cu var, zgură de termocentrală și ciment, se constată următoarele:

- în comparație cu structura rutieră inițială (F4), structura ce prezintă un strat de formă de 20 cm, dezvoltă următoarele reduceri ale tasărilor verticale aferente stratului de uzură: 16,19%, pentru stabilizarea materialului existent cu var, 20,81%, cu var și zgură de termocentrală și 26,01%, pentru stabilizarea cu ciment în concentrație 6,00%. În schimb, reducerile deformațiilor verticale de la nivelul stratului de fundație sunt: 36,00%, 38,00% respectiv 40,00%;

- structurile rutiere ce prezintă straturile aferente îmbrăcămintei structurii N1, armate cu două geogrile, iar stratul de formă prezintă stabilizare cu var, zgură și ciment, dezvoltă pe rând

următoarele compatibilități cu N1, la nivelul stratului de uzură: 73,91% (stabilizare cu var), 75,46% (stabilizare cu var și zgură), respectiv 77,89% (stabilizare cu ciment). Cu alte cuvinte, aceste ultime trei soluții prezintă un aport de compatibilitate privind tasările la nivelul stratului de uzură de 44,60%, 46,14% respectiv 48,57%. De asemenea, aporturile de compatibilitate la nivelul stratului suport sunt: 44,47%, 45,08% respectiv 46,20%.

j. Un rost progresiv joncțional se definește ca fiind racordarea progresivă a unei structuri rutiere ce aparține unui drum secundar (în cazul de față drum forestier) cu o altă structură ce aparține unui drum principal (în cazul de față drum național). Practic, pe lungimea acestui rost se amplasează structuri rutiere intermediare ce prezintă valori crescute ale compatibilităților deformațiilor verticale. În exemplul de calcul efectuat, s-a demonstrat că prin impunerea unei racordări progresive valoarea compatibilității a crescut de la 29,48% la o valoare medie de 82,06%.

6.2. Contribuții originale

1. Au fost realizate pentru prima dată inventarierea și analiza completă a intersecțiilor formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale din județul Braşov.

2. S-au cuantificat valorile temporale și de lungime pentru care un vehicul forestier, ce parcurge o intersecție drum forestier – drum național, se integrează în traficul rutier aferent unui drum public.

3. Valorile temporale și de lungime au fost determinate utilizând metoda grafică prin care se aplică valoarea vitezei v_{15} (eng. - *15th percentile speed*) în graficele care reprezintă viteza de deplasare în funcție de timp și distanță.

4. S-au determinat relațiile dintre valorile unghiurilor aferente intersecțiilor și valorile de timp și lungime pentru care vehiculul forestier, ce parcurge intersecțiile drum forestier – drum național, obturează fluxul traficului aferent drumului național.

5. S-a realizat un studiu amplu privind utilizarea metodei elementului finit axial simetrică pentru calculul structurilor rutiere. Totodată, s-a demonstrat posibilitatea calculării structurilor rutiere ce aparțin drumurilor forestiere folosind metoda elementului finit.

6. S-a cuantificat modul în care armarea cu geogriile reduce valorile tasărilor verticale ale structurilor rutiere aferente drumurilor forestiere. De asemenea, s-a evidențiat variația deformațiilor verticale atât în funcție de locul de amplasare al geogriilelor, cât și de variația modulului de elasticitate aferent materialelor geosintetice utilizate.

7. S-a evidențiat aportul de capacitate portantă dat de impunerea în structura rutieră a unui strat de formă realizat prin stabilizare cu următorii lianți: var, zgură de termocentrală și ciment.

8. S-au cuantificat valorile privind compatibilitatea a 55 de rosturi joncționale formate de anumite structuri tipice drumurilor forestiere cu o structură ce caracterizează drumurile naționale de clasă tehnică III.

9. Au fost propuse și analizate o serie de 47 de soluții tehnice privind creșterea valorilor de compatibilitate ale rosturilor joncționale drum forestier – drum național.

10. S-a propus și exemplificat un model de calcul al unui rost progresiv între o structură ce aparține drumurilor forestiere și o structură ce caracterizează drumurile naționale.

6.3. Diseminarea rezultatelor

A. Lucrări publicate în reviste naționale

1. **Bratu C.A., 2014.** Cleaning mechanism of the forest-vehicle tyres. Low energy consuming mechanism, Creativity Innovation Journal, Vol.6, Nr. 6, (indexare DOAJ)

B. Lucrări BDI

1. **Bratu C.A., Ciobanu D.V., Apăfăian A., Boghian V., 2015.** Influence of geometrical elements on the traffic safety in forest – national road intersections, Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Braşov

2. Boghian V., Apăfăian A., **Bratu C.A., Ignea G., 2015.** A review on Degradation Factors Affecting the Forest Roads and Their Prevention, Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Braşov

3. **Bratu C.A., Ciobanu V., Roman C.A., 2015.** The characteristics of the muddy material carried by forestry/agriculture tires on the public road, Ecoterra Journal of Environmental Research and Protection, Vol. 12, Issue 3

4. **Bratu C.A., Ciobanu D.V., 2017.** Geometrical characteristics of forest – public road junctions: a case study in Braşov County, Romania, Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Braşov

C. Lucrări ISI

1. **Bratu, C.A., Covaciu, D., 2017.** Study on the Influence of Intersections with Forest Roads upon the Traffic Flows on Highways, CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering, Springer International Publishing, Vol 2, pp. 710-720

2. **Bratu, C. A., Ciobanu, V., Derczeni, R.A., Salcă, E.,** Study on the Junction of Forest Roads and Public Roads by using 3D FEM, CROJFE - Croatian Journal of Forest Engineering, IF = 1,415 (în recenzie)

3. **Bratu, C. A., Ciobanu, V., Derczeni, R.A., Salcă, E.,** Study on the forest road structures reinforced with geogrids by using the 2D FEM method, Road Materials and Pavement Design, IF = 1,401 (în recenzie)

4. **Bratu, C. A., Ciobanu, V., Derczeni, R.A., Salcă, E.,** Comparative study on the linear-elastic behavior of flexible pavements of Romanian by using the FEM Axisymmetric and Burmister methods, International Journal of Pavement Engineering, IF = 2,322 (trimis)

D. Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe

1. **Bratu C. A, 2014.** Mecanism de curățare a roților vehiculelor forestiere, Conferința Națională a Școlii Doctorale – Creativitate și Inovare, Braşov, 2014
2. **Bratu C.A., Ciobanu D.V., Apăfăian A., Boghian V., 2015.** Influence of geometrical elements on the traffic safety in forest – national road intersections, Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Braşov, 2015
3. **Bratu C.A., Ciobanu V., Roman C.A., 2015.** The characteristics of the muddy material carried by forestry/agriculture tires on the public road. International U.A.B. – B.EN.A. Conference Alba Iulia, Romania, MAY 28-30th, 2015
4. **Bratu C.A., Ciobanu D.V., 2016.** Geometrical characteristics of forest – public road junctions: a case study in Braşov County, Romania, Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Braşov, 7-8th October 2016
5. **Bratu, C.A., Covaciu, D, 2016.** Study on the Influence of Intersections with Forest Roads upon the Traffic Flows on Highways, CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering

E. Brevete de invenție

1. **Bratu C.A., Ciobanu D.V.,** Rostul joncțional progresiv utilizat pentru racordarea a două structuri rutiere ce prezintă tasări diferențiale (acceptată de către B.P.I. – Universitatea Transilvania din Braşov și transmisă la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci).

6.4. Direcții de cercetare

1. Determinarea corelațiilor dintre caracteristicile dinamice ale vehiculului martor, ce efectuează manevre de virare în intersecțiile drum forestier – drum național, și comportamentul șoferului, monitorizat prin aparatură medicală (exemplu aparat EKG).
2. Determinarea valorilor privind deformațiile și eforturile dezvoltate de o structură rutieră încărcată cu o sarcină dinamică, utilizând metoda elementului finit axial simetrică.
3. Determinarea valorilor de compatibilitate a rosturilor joncționale drum forestier – drum național atunci când cele două structuri adiacente sunt armate cu aceeași geogrilă.
4. Determinarea unei metode de calcul al rosturilor joncționale progresive pentru toate tipurile de structuri rutiere ce pot deveni adiacente în formarea unui rost joncțional.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- ABBAS, S. K. S., ADNAN, M. A. & ENDUT, I. R. 2011. Exploration of 85th Percentile Operating Speed Model on Horizontal Curve: A Case Study for Two-Lane Rural Highways. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16, 352-363.
- ABO-QUDAIS, S. A. & AL-QADI, I. L. 2000. Dowel bars corrosion in concrete pavement. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27, 1240-1247.
- AHMED, M. U., RAHMAN, A., ISLAM, M. R. & TAREFDER, R. A. 2015. Combined effect of asphalt concrete cross-anisotropy and temperature variation on pavement stress-strain under dynamic loading. *Construction and Building Materials*, 93, 685-694.
- AL-QADI, I., WANG, H., YOO, P. & DESSOUKY, S. 2008. Dynamic Analysis and In Situ Validation of Perpetual Pavement Response to Vehicular Loading. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2087, 29-39.
- AMBASSA, Z., ALLOU, F., PETIT, C. & EKO, R. M. 2013. Fatigue life prediction of an asphalt pavement subjected to multiple axle loadings with viscoelastic FEM. *Construction and Building Materials*, 43, 443-452.
- ARABANI, M., JAMSHIDI, R. & SADEGHNEJAD, M. 2014. Using of 2D finite element modeling to predict the glasphalt mixture rutting behavior. *Construction and Building Materials*, 68, 183-191.
- BAYAT, A. & KNIGHT, M. 2010. Investigation of flexible pavement structural response for the Centre for Pavement and Transportation Technology (CPATT) test road. *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*. Washington, D.C., USA.
- BEREZIUC, R., ALEXANDRU, V., CIOBANU, V. & IGNEA, G. 2008. *Elemente pentru fundamentarea normativului de proiectare a drumurilor forestiere*, Braşov, Editura Univesităţii Transilvania.
- BESKOU, N. D., HATZIGEORGIU, G. D. & THEODORAKOPOULOS, D. D. 2016a. Dynamic inelastic analysis of 3-D flexible pavements under moving vehicles: A unified FEM treatment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 90, 420-431.
- BESKOU, N. D., TSINOPOULOS, S. V. & THEODORAKOPOULOS, D. D. 2016b. Dynamic elastic analysis of 3-D flexible pavements under moving vehicles: A unified FEM treatment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 82, 63-72.
- BRATU, C. A. & COVACIU, D. Study on the Influence of Intersections with Forest Roads upon the Traffic Flows on Highways. 2017 Cham. Springer International Publishing, 710-720.
- BROUTIN, M. & SADOON, A. 2016. Advanced Modelling for Rigid Pavement Assessment Using HWD. *Transportation Research Procedia*, 14, 3572-3581.
- CAO, P., FENG, D. C. & JING, R. X. 2012. Based on FE Method to Research Resistant Rutting Ability of Pavement Structure in Heilongjiang Province. *Applied Mechanics and Materials*, 128-129, 1349-1354.
- CEBON, D. 2006. *Handbook of vehicle-road interaction*, London ; New York, Editura Taylor & Francis.
- CHANNAKESHAHA, C., BARZEGAR, F. & VOYIADJIS, G. Z. 1993. Nonlinear FE Analysis of Plain Concrete Pavements with Doweled Joints. *Journal of Transportation Engineering*, 119, 763-781.
- CHO, Y.-H., MCCULLOUGH, B. & WEISSMANN, J. 1996. Considerations on Finite-Element Method Application in Pavement Structural Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1539, 96-101.
- COVACIU, D. 2010. *Soluţii în studiul performanţelor dinamice şi în trafic ale autovehiculelor prin integrarea aplicaţiilor CAD/PLM şi GPS*. PhD. (Teză de doctorat), Universitatea Transilvania.
- DAVIDS, W., TURKIYYAH, G. & MOHONEY, J. 1998. Modeling of rigid pavements: joint shear transfer mechanisms and finite element solution strategies. In: WASHINGTON, U. O. (ed.).
- DIMA, N., BELDEA, M., HERBEI, O. & ULAR, R. 2007. *Instrumente topografice şi geodezice*, Petroşani, Editura Universitas.
- DOŞA, A., UNGUREANU, V.V. & ANDREI, B. 2010. SRM – Axisymmetric Bidimensional Discrete Model for Analysis of Road Structures, *International Scientific Conference CIBv* [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/235505266_SRM_AXISYMMETRIC_BIDIMENSIONAL_DISCRETE_MODEL_FOR_ANALYSIS_OF_ROAD_STRUCTURES

- ELSEIFI, M. A., AL-QADI, I. L. & YOO, P. J. 2006. Viscoelastic Modeling and Field Validation of Flexible Pavements. *Journal of Engineering Mechanics*, 132, 172-178.
- ERLINGSSON, S. 2007. Numerical Modelling of Thin Pavements Behaviour in Accelerated HVS Tests. *Road Materials and Pavement Design*, 8, 719-744.
- FAUR, N. 2002. *Elemente Finite. Fundamente*, Timisoara, Romania.
- FLOREA, D. 2000. *Managementul traficului rutier (Road Traffic Management)*, Braşov, Universitatea Transilvania din Braşov.
- FLOREA, D., COVACIU, D., PREDA, I., TIMAR, J. 2013. Comparative analysis of moving observer kinematics in urban road network. *Acta Technica Corviniensis - Bulletin Eng.*, 6, 135.
- FODOR, G. & POPESCU, N. 2009. *Structuri rutiere suple si semirigide. Dimensionare si alcatuire*. Bucureşti, România, Ghid Tehnic.
- GAJEWSKI, J. & SADOWSKI, T. 2014. Sensitivity analysis of crack propagation in pavement bituminous layered structures using a hybrid system integrating Artificial Neural Networks and Finite Element Method. *Computational Materials Science*, 82, 114-117.
- GARMIN INTERNATIONAL. 2011. *GPS 18x Technical Specifications* [Online]. Available: https://static.garmincdn.com/pumac/GPS_18x_Tech_Specs.pdf.
- HAN, D., ZHU, G., HU, H. & LI, L. 2018. Dynamic simulation analysis of the tire-pavement system considering temperature fields. *Construction and Building Materials*, 171, 261-272.
- HESAMI, S. & SADEGHI, V. 2015. Numerical Investigation of the Shape Memory Alloy Dowels in Jointed Concrete Pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 8, 251-258.
- HOBBS, F. D. 1979. *Traffic Planning & Engineering - 2nd*, Editura. Pergamon Press, Oxford, Anglia
- HOU, Y., SUN, C. & EDARA, P. 2012. Statistical Test for 85th and 15th Percentile Speeds with Asymptotic Distribution of Sample Quantiles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2279, 47-53.
- HOW, B. S. 2014. *Three-Dimensional Finite Element Analysis of Concrete Pavement of Weak Foundation*. Griffith University.
- HOWARD, I. L. & WARREN, K. A. 2009. Finite-Element Modeling of Instrumented Flexible Pavements under Stationary Transient Loading. *Journal of Transportation Engineering*, 135, 53-61.
- HUANG, Y. H. 2004. *Pavement Analysis and Design*, N. Jersey, USA, Prentice Hall.
- IMANINASAB, R., BAKHSHI, B. & SHIRINI, B. 2016. Rutting performance of rubberized porous asphalt using Finite Element Method (FEM). *Construction and Building Materials*, 106, 382-391.
- IOANNIDES, A. M. & KOROYESIS, G. T. 1992. Analysis and Design of Doweled Slab; Grade Pavement Systems. *Journal of Transportation Engineering*, 118, 745-768.
- JIAN-PING, Z., MIN-JIANG, Z., YUN-QUAN, L. & MING-GAO 2010. Mechanical Analysis on Rutting Resistance in Asphalt Pavement. *CCTP 2010 : Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable*.
- JOOSTE, F. J. 2002. Flexible Pavement Response Evaluation using the Semi-analytical Finite Element Method. *Road Materials and Pavement Design*, 3, 211-225.
- JU, S.-H. 2009. Finite element investigation of traffic induced vibrations. *Journal of Sound and Vibration*, 321, 837-853.
- KHAVASSEFAT, P., JELAGIN, D. & BIRGISSON, B. 2012. A computational framework for viscoelastic analysis of flexible pavements under moving loads. *Materials and Structures*, 45, 1655-1671.
- KIM, M. 2007. *Three-dimensional finite element analysis of flexible pavements considering nonlinear pavement foundation behavior*. Doctor of Philosophy, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- LANCASTER, I. M., KHALID, H. A. & KOUGIOUMTZOGLU, I. A. 2013. Extended FEM modelling of crack propagation using the semi-circular bending test. *Construction and Building Materials*, 48, 270-277.
- LIAO, J. & SARGAND, S. 2010. Viscoelastic FE Modeling and Verification of a U.S. 30 Perpetual Pavement Test Section. *Road Materials and Pavement Design*, 11, 993-1008.
- LIU, P., XU, H., WANG, D., WANG, C., SCHULZE, C. & OESER, M. 2018. Comparison of mechanical responses of asphalt mixtures manufactured by different compaction methods. *Construction and Building Materials*, 162, 765-780.

- MAMLOUK, M. S. & DAVIES, T. G. 1984. Dynamic Analysis of Pavement Deflections. *Journal of Transportation Engineering*, 110, 536-550.
- MULUNGYE, R. M., OWENDE, P. M. O. & MELLON, K. 2007. Finite element modelling of flexible pavements on soft soil subgrades. *Materials & Design*, 28, 739-756.
- NARZARY, B. K. & AHAMAD, K. U. 2018. Estimating elastic modulus of California bearing ratio test sample using finite element model. *Construction and Building Materials*, 175, 601-609.
- NAZARIAN, S. & BODDAPATI, K. M. 1995. Pavement-falling weight deflectometer interaction using dynamic finite-element analysis. *Transportation Research Record* 33-43.
- PD 003-11 2011. *Nomrativ privind poriectarea drumurilor forestiere*. Ministerul Mediului.
- PD 177 2001. - *Normativ privind dimensionarea sistemelor rutiere suple si semirigide (Metoda Analitica)*. Roamnia, Bucureşti.
- PIRABAROOBAN, S., ZAMAN, M. & TAREFDER, R. A. 2003. EVALUATION OF RUTTING POTENTIAL IN ASPHALT MIXES USING FINITE ELEMENT MODELING. In: CANADA, T. A. O. (ed.) *The Transportation Factor 2003. Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada. (Congres et Exposition Annuels de l'Association des transport du Canada)*. St. John's, Newfoundland and Labrador.
- RAMOS-GARCÍA, J. A. & CASTRO, M. 2017. Linear visco-elastic behavior of asphalt pavements: 3D-FE response models. *Construction and Building Materials*, 136, 414-425.
- RANADIVE, M. S. & TAPASE, A. 2016a. Pavement performance evaluation for different combinations of temperature conditions and bituminous mixes. *Innovative Infrastructure Solutions*, 1, 40.
- RANADIVE, M. S. & TAPASE, A. B. 2016b. Parameter sensitive analysis of flexible pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9, 466-472.
- ROESS, R. P. 2011. *Traffic Engineering Upper Saddle River*, Person Higher Education.
- RYAN, T., PHILLIPS, H., RAMSAY, J. & DEMPSEY, J. 2004. [Online]. Available: *Forest Road Manual: Guidelines for the design, construction and management of forest roads*. https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/598_2007_39_832.pdf.
- SADEGHI, V. & HESAMI, S. 2017. Investigation of load transfer efficiency in jointed plain concrete pavements (JPCP) using FEM. *International Journal of Pavement Research and Technology*.
- SHAFABAKHSH, G., TALEBSAFA, M., MOTAMEDI, M. & BADROODI, S. K. 2015. Analytical evaluation of load movement on flexible pavement and selection of optimum neural network algorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19, 1738-1746.
- SHANBARA, H. K., RUDDOCK, F. & ATHERTON, W. 2018. Predicting the rutting behaviour of natural fibre-reinforced cold mix asphalt using the finite element method. *Construction and Building Materials*, 167, 907-917.
- SHAOHUI, L., ZHONGYIN, G. & YONGSHUN, Y. 2015. Rutting Resistance Ability Analysis of Heavy Duty Asphalt Pavements Based on Consecutive Temperature Variation and Finite Element Method. *CICTP 2015*.
- SHOUKRY, S. & WILLIAM, G. 1999. Performance Evaluation of Backcalculation Algorithms Through Three-Dimensional Finite-Element Modeling of Pavement Structures. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1655, 152-160.
- SHOUKRY, S. N., WILLIAM, G. W. & RIAD, M. 2002. Characteristics of Concrete Contact Stresses in Doweled Transverse Joints. *International Journal of Pavement Engineering*, 3, 117-129.
- SINHA, A. K., CHANDRA, S. & KUMAR, P. 2014. Finite element analysis of flexible pavement with different subbase materials. *Indian Highways*, 42(2), 53-63.
- SOMÉ, S. C., FEESER, A. & PAVOINE, A. 2018. Numerical and experimental investigation of mode I cracking of asphalt concrete using semi-circular bending test. *Construction and Building Materials*, 169, 34-46.
- TUTUMLUER, E., LITTLE, D. & KIM, S.-H. 2003. Validated Model for Predicting Field Performance of Aggregate Base Courses. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1837, 41-49.
- VALAŠKOVÁ, V. & LAJČÁKOVÁ, G. 2017. Mutual Comparison of Two Pavement Computing Models. *Procedia Engineering*, 190, 547-553.

- WADKAR, A., METHA, Y., CLEARY, D., GUO, E., MUSUMECI, L., ZAPATA, A., KETTLESON, W. 2011. Load – Transfer Efficiencies of Rigid Airfiled Pavement Joints Based on Stresses and Deflections. *Journal of materials in civil engineering*, 23, 1171-1180
- WEI, T. 2007. *Response modelling of pavement subjected to dynamic surface loading based on stress-based multi-layered plate theory*. Ohio State University.
- WILLIAM, G. W. & SHOUKRY, S. N. 2001. 3D Finite Element Analysis of TemperatureInduced Stresses in Dowel Jointed Concrete Pavements. *International Journal of Geomechanics*, 1, 291-307.
- XIA, K. 2010. Finite Element Modeling of Dynamic Tire/Pavement Interaction. *Proceedings of the Pavements and Materials: Characterization and Modeling Symposium*.
- XU-QIU, T., XIAO-ZHONG, L. & KATIE, C. 2008. Application of Finite Element Analysis to Access the Rutting Potential in Asphalt Pavements. *First International Symposium on Transportation and Development Innovative Best Practices*.
- YANG, Y. B. & HUNG, H. H. 2001. A 2.5D finite/infinite element approach for modelling visco-elastic bodies subjected to moving loads. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 51, 1317-1336.
- YANING, Z., LING, J. & LAN, Z. 2015 Ambient Temperature and Vehicle Loading Effects on Asphalt Concrete Pavement Rutting Development. Fifth International Conference on Transportation Engineering.
- YAO, Z. Y., ZHOU, L. J., SHANG, Q. S., GUO, J. M. & WANG, N. 2012. Analysis of Rutting Change Rule on Asphalt Pavement Overlay. *Advanced Materials Research*, 368-373, 3131-3136.
- YIN, A., YANG, X., ZHANG, C., ZENG, G. & YANG, Z. 2015. Three-dimensional heterogeneous fracture simulation of asphalt mixture under uniaxial tension with cohesive crack model. *Construction and Building Materials*, 76, 103-117.
- YOO, P. & AL-QADI, I. 2007. Effect of Transient Dynamic Loading on Flexible Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1990, 129-140.
- ZHANG, J., ZHU, C., LI, X., PEI, J. & CHEN, J. 2017. Characterizing the three-stage rutting behavior of asphalt pavement with semi-rigid base by using UMAT in ABAQUS. *Construction and Building Materials*, 140, 496-507.
- ZHENG, L., HAI-LIN, Y., WAN-PING, W. & PING, C. 2012. Dynamic stress and deformation of a layered road structure under vehicle traffic loads: Experimental measurements and numerical calculations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 39, 100-112.
- ZIENKIEWICZ, O. C. & TAYLOR, R. L. 1991. *The Finite Element Method*, Editura McGraw Hill, Londra, Anglia

ANEXE

ANEXA 1

SCURT REZUMAT

Scopul prezentei lucrări este cercetarea și eficientizarea interacțiunii următoarelor caracteristici aferente intersecțiilor drum forestier – drum național: geometria intersecțiilor existente, modul de desfășurare al traficului rutier în zona intersecțiilor și comportarea structurilor rutiere în zona de joncțiune aferente celor două drumuri, respectiv eficientizarea acestora.

Pentru îndeplinirea obiectivelor propuse, în prima fază, s-au determinat elementele geometrice ale intersecțiilor drum forestier – drum național din județul Brașov. În etapa următoare s-au determinat valorile temporale și de distanță pentru care un vehicul forestier, ce parcurge intersecțiile studiate, se află la nivel de obstacol pentru traficul rutier desfășurat pe drumul național. În ultima parte a cercetării s-au propus și studiat compatibilitate a 55 de rosturi joncționale formate de structurile aferente drumurilor forestiere cu o structură tipică drumurilor naționale.

Pe raza județului Brașov s-au identificat un număr de 41 de intersecții formate de drumurile forestiere cu drumurile naționale. Dintre drumurile forestiere doar 32% prezintă îmbrăcăminte asfaltică în zona de joncțiune. Unghiurile de racordare prezintă valori cuprinse între $21,70^\circ$ și $89,53^\circ$. Pentru intersecțiile studiate s-a constatat că vehiculul forestier implicat în teste (camion și remorcă), fără încărcare utilă, ce accede prin virare la dreapta pe drumul forestier din drumul național, incomodează traficul aferent drumului public, cu 18,92 s și 95,96 m înainte ca partea din spate a remorcii să părăsească drumul național. Aceste date reprezintă valori medii. În cazul în care vehiculul forestier, încărcat cu sarcină utilă maximă, părăsește drumul forestier prin virare la stânga, acesta se află la nivel de obstacol mobil pentru traficul desfășurat pe drumul public pentru o durată de 57,46 s și pe o lungime de 360,88 m. Valorile reprezintă valori medii și sunt reprezentative pentru intersecțiile studiate. În exemplul de calcul efectuat, s-a demonstrat că prin impunerea unei racordări progresive valoarea compatibilității a crescut de la 29,48% la o valoare medie de 82,06%.

SHORT SUMMARY

The purpose of this paper is to investigate the interaction and influence of the characteristics specific to the forest-national road intersections, such as: the geometry of the existing intersections, the road traffic in the intersection area and the road structures behavior in the roads junction area as well as its efficiency.

To achieve the proposed objectives, in the first phase, the geometrical elements of the forest-national road intersections in Braşov County were determined. For the next step, the time and distance values for which a forestry vehicle crossing the studied intersections are at an obstacle level for road traffic on the national road were determined. The last part of the research proposed and studied the compatibility of 55 junctional joints formed by the structures related to the forest roads with a typical structure of the national roads.

A total of 41 intersections formed by the forest roads with the national roads in Brasov County were identified. Out of the forest roads, only 24% have asphalt in the junction area. The connection angles are between $21,70^\circ$ and $89,53^\circ$. For the studied intersections it was found that the tested forestry vehicle (truck and trailer), without payload, when turning right on a forest road from the national road, disturbs the traffic on the public road for 18,92 s along 95,96 m distance before the trailer rear leaves the national road. These data are average values. When the forestry vehicle is loaded with a maximum payload, it leaves the forest road by turning left. In such situation it is at the level of a mobile obstacle for public road traffic for a duration of 57,46 s and a length of 360,88 m. These are average values and they are representative for the studied intersections. The presented calculation demonstrated that by imposing a progressive connection, the compatibility value increased from 29.48% to an average of 82.06%.

CURRICULUM VITAE (ROMÂNĂ)

DATE PERSONALE:

Nume: BRATU
Prenume: Constantin - Alexandru
Email:

STUDII:

Licență: Universitatea Transilvania din Braşov
Octombrie 2007 - Iunie 2011 Facultatea de Construcții
Masterat: Universitatea Transilvania din Braşov
Octombrie 2011 - Iunie 2013 Facultatea de Construcții

ACTIVITATEA PROFESIONALĂ

Octombrie 2011 – prezent
D.R.D.P. Braşov Inginer CFDP

ACTIVITATEA ŞTIINŢIFICĂ:

Articole publicate în reviste cotate ISI 1
Articole publicate în reviste cotate BDI 4
Conferințe internaționale cotate BDI 5

CURRICULUM VITAE (ENGLEZĂ)

PERSONAL DATA:

First name: BRATU
Surname: Constantin - Alexandru
Email:

STUDIES:

Civil Engineer: Transilvania University of Braşov
October 2007 - June 2011 Faculty of Civil Engineering
MSc: Transilvania University of Braşov
October 2011 - June 2013 Faculty of Civil Engineering

PROFESSIONAL EXPERIENCE

October 2011 – present
D.R.D.P. Braşov Civil Engineer

SCIENTIFIC ACTIVITY:

Articles published in ISI Journals 1
International conferences in IDB 4
Participation in research grants 5