

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA  
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

ing. Cristian Alexandru HERMAN

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚIREA CONDIȚIILOR  
DE SIGURANȚĂ ȘI CONFORT PE LINIILE FERATE  
URBANE**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:**  
prof. dr. ing. GAVRIL KÖLLŐ



## Cuprins

<b>CUPRINS</b>	2
Lista figurilor	5
Lista tabelelor	8
<b>CAPITOLUL 1 PARTICULARITĂȚI ALE LINIILOR FERATE URBANE</b>	<b>9</b>
1.1. Căi ferate în mediul urban	9
1.2. Particularități privind proiectarea și construcția liniilor de tramvai	10
1.3. Particularități privind elementele geometrice	11
1.4. Particularități privind căile ferate industriale	14
1.4.1. Particularități ale traseului în plan	14
1.4.2. Particularități privind profilul longitudinal	16
1.4.3. Particularități privind profilurile transversale tip	17
1.5. Particularități ale liniilor de metrou	20
1.6. Particularități ale căilor de rulare pentru macarale	21
1.7. Concluzii și recomandări	21
<b>CAPITOLUL 2 TIPURI DE SUPRASTRUCTURI DE LINII URBANE ȘI EVOLUȚIA ACESTORA</b>	<b>23</b>
2.1. Suprastructura căii de rulare a tramvaiului	23
2.2. Suprastructura căilor ferate urbane	30
2.2.1. Suprastructuri rigide japoneze	31
2.2.2. Suprastructuri rigide germane	33
2.2.3. Șine fixate în jgheab	37
2.3. Particularități ale suprastructurii liniilor de metrou	38
2.4. Soluții pentru realizarea căilor de rulare pentru macarale	41
2.5. Concluzii și recomandări	42
<b>CAPITOLUL 3 METODE DE CALCUL AL SUPRASTRUCTURILOR DE CALE FERATĂ URBANE</b>	<b>46</b>
3.1. Generalități	46
3.2. Noțiuni privind dinamica vehiculelor de cale ferată	47
3.3. Sarcini transmise de vehiculele căii	47
3.3.1. Sarcini verticale	48
3.3.2. Sarcini orizontale transversale	49
3.3.3. Sarcini orizontale longitudinale	50
3.4. Rezistențe întâmpinate de vehicule în mers	51
3.4.1. Rezistențe în mișcare de regim	51
3.4.2. Rezistențe datorită traseului	55
3.4.3. Rezistențele în mișcarea variată	57
3.4.4. Rezistențe speciale și accidentale	58
3.5. Forța de tracțiune	59
3.6. Calculul șinei	60
3.6.1. Calculul șinei la încovoiere	60
3.6.1.1. Ipoteza reazemelor rigide	60
3.6.1.2. Ipoteza reazemelor elastice (Zimmermann)	61
3.6.2. Supraîncărcarea datorită efortului dinamic	66
3.6.3. Eforturi în șină din forțe orizontale transversale	67
3.6.4. Eforturi în șină datorită forțelor orizontale longitudinale	67

3.6.5.	Eforturi speciale de încovoiere în șinele de cale ferată ..	69
3.6.5.1.	Eforturi în îndreptarea sau curbarea șinei .....	69
3.6.5.2.	Eforturi cauzate de neregularitățile existente la cale sau la materialul rulant .....	69
3.6.5.3.	Eforturi datorită aplicării excentrice a forțelor verticale .....	69
3.6.5.4.	Eforturi datorită presiunii de contact dintre șină și roată .....	69
3.6.6.	Dimensionarea șinei de cale ferată .....	70
3.7.	Calculul traverselor de cale ferată .....	72
3.7.1.	Verificarea traverselor din lemn .....	73
3.7.2.	Calculul traverselor din beton armat precomprimat .....	76
3.7.3.	Traversa din beton precomprimat pentru prinderea elastică .....	76
3.7.3.1.	Generalități .....	76
3.7.3.2.	Domeniu de utilizare.....	76
3.7.3.3.	Specificații de materiale.....	77
3.7.3.4.	Suprastructura căii.....	77
3.7.3.5.	Determinarea încărcărilor .....	77
3.7.3.5.1.	Ipoteze de rezemare.....	77
3.7.3.5.2.	Ipoteze de încărcare și calculul solicitărilor .....	78
3.7.3.5.3.	Determinarea solicitărilor de calcul.....	78
3.7.3.5.4.	Solicitări în dreptul șinei.....	79
3.7.3.6.	Aplicație pentru traversa T17 specială (șina 60) .....	81
3.7.3.7.	Antedimensionarea traversei.....	81
3.7.3.8.	Aplicație pentru traversa T17 specială (șina 60) .....	83
3.7.3.9.	Dimensionarea traversei.....	83
3.8.	Calculul privind materialul mărunț de cale .....	89
3.8.1.	Solicitări asupra prinderii șinelor pe traverse .....	89
3.8.2.	Stabilirea solicitărilor pentru joante .....	91
3.9.	Dimensionarea stratului de piatră spartă.....	93
3.9.1.	Metoda aproximativă.....	93
3.9.2.	Metoda mai exactă .....	94
3.9.3.	Observații .....	96

**CAPITOLUL 4 ÎMBUNĂȚĂȚIREA INTERACȚIUNII VEHICUL – CALE PENTRU  
SPORIREA SIGURANȚEI CIRCULAȚIEI ȘI A CONDIȚIILOR DE  
CONFORT .....** 100

4.1.	Efectele mișcărilor oscilatorii ale materialului rulant.....	101
4.2.	Diminuarea vibrațiilor perturbatoare produse de calea de rulare .....	102
4.3.	Retrasarea curbelor de cale ferată prin metoda Cassan și metoda ripărilor succesive.....	103
4.3.1.	Măsurarea săgeților .....	105
4.3.2.	Metoda diagramei săgeților .....	106
4.3.3.	Exemplu de retrasare .....	110
4.3.4.	Metoda ripărilor succesive .....	114
4.3.5.	Exemplu de calcul .....	115
4.3.6.	Concluzii .....	117
4.4.	Prezentarea programului de retrasare utilizat .....	117
4.5.	Efectul forțelor la contactul șinei cu buza bandajului .....	122



## Cuprins

<b>CAPITOLUL 5</b>	<b>NOI SOLUȚII PRIVIND REALIZAREA SUPRASTRUCTURILOR LINIILOR URBANE</b> .....	124
5.1.	Linii de tramvai vibroabsorbante .....	124
5.2.	Linii de tramvai „verzi” sau realizate cu betoane armate cu fibre sintetice .....	127
5.2.1.	Utilizarea betoanelor armate cu fibre la liniile de tramvai .....	129
5.3.	Treceri la nivel pe plăci rigide .....	138
5.3.1.	Evaluarea stării de eforturi și deformații ale plăcii de beton .....	139
<b>CAPITOLUL 6</b>	<b>MĂSURĂTORI EFECTUATE LA CĂILE DE TRANSPORT URBANE</b> .....	145
6.1.	Măsurători de vibrații efectuate în orașul Jula .....	145
6.2.	Condiții privind efectele vibrocalmante ale reconstrucției străzii.....	149
6.3.	Influența vibrațiilor asupra oamenilor .....	151
<b>CAPITOLUL 7</b>	<b>CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE</b> .....	163
7.1.	Concluzii și observații finale .....	163
7.2.	Contribuții originale .....	164
7.3.	Recomandări .....	165
<b>BIBLIOGRAFIE</b>	.....	167
<b>ANEXA 1</b>	<b>Lista lucrărilor publicate</b> .....	173

**LISTA FIGURILOR:**

- Figura 1.1. Rampa supraînălțării  
 Figura 1.2. Viteza de ridicare a roții  
 Figura 1.3. Variația insuficienței de supraînălțare  
 Figura 1.4. Gabarit pentru calea de rulare  
 Figura 1.5. Gabarit pentru calea de rulare dublă în curbă  
 Figura 1.6. Profil transversal tip C.F.I. fără supraînălțare  
 Figura 1.7. Profil transversal C.F.I. cu supraînălțare  
 Figura 1.8. Profil transversal tip de debleu în stâncă pentru C.F.I.  
 Figura 1.9. C.F.I. înglobată  
 Figura 1.10. C.F.I. înglobată în carosabil  
 Figura 1.11. Trecere la nivel cu contrașine  
 Figura 1.12. Secțiune tunel metrou  
 Figura 2.1. Profil transversal pentru cale de rulare dublă, cu șină de tramvai, pe traverse, închisă cu plăci de beton armat prefabricate, cu dren central  
 Figura 2.2. Profil transversal pentru cale de rulare dublă, cu șină de tramvai, înglobată în partea carosabilă, stâlpi în ax, drenuri laterale  
 Figura 2.3. Profil transversal tip pentru modernizarea liniilor de tramvai din Timișoara  
 Figura 2.4. Detaliu prindere tip ORTEC  
 Figura 2.5. Sistem clasic cu rezemare elastică  
 Figura 2.6. Suprastructură rigidă tip Basel II  
 Figura 2.7. Cale cu rezemare semirigidă  
 Figura 2.8. Suprastructură pe traverse  
 Figura 2.9. Panouri din beton armat cu șine înglobate  
 Figura 2.10. Suprastructura PHOENIX AG  
 Figura 2.11. Șine fixate în jgheab  
 Figura 2.12. Suprastructură rigidă japoneză  
 Figura 2.13. Suprastructură rigidă pentru zone periurbane în Japonia  
 Figura 2.14. Suprastructură RHEDA  
 Figura 2.15. Scheme ale suprastructurii RHEDA  
 Figura 2.16. Alte suprastructuri rigide germane  
 Figura 2.17. Suprastructură tip OELDE  
 Figura 2.18. Șine fixate în jgheab (Olanda)  
 Figura 2.19. Sistemul EASYLast  
 Figura 2.20. Linie metropolitană la Viena  
 Figura 2.21. Linie metropolitană la Paris  
 Figura 2.22. Linie metropolitană la Stockholm  
 Figura 2.23. Linie metropolitană la Rotterdam  
 Figura 2.24. Linie metropolitană la München  
 Figura 2.25. Secțiune cale de rulare Rovinari  
 Figura 2.26. Cale de rulare tip GANTREX  
 Figura 3.1. Variația coeficientului dinamic  
 Figura 3.2. Rezultanta forțelor orizontal-longitudinale  
 Figura 3.3. Rezistențe la înaintare  
 Figura 3.4. Loviri la joante  
 Figura 3.5. Rezistențe la rostogolire  
 Figura 3.6. Frecarea în lagăre

## Lista figurilor

- Figura 3.7. Rezistența datorită declivității  
Figura 3.8. Diagramele forței de tracțiune  
Figura 3.9. Schema de încărcare a șinei după Winkler  
Figura 3.10. Schema de încărcare a șinei după UIC  
Figura 3.11. Rezemarea continuă a șinei pe patul căii  
Figura 3.12. Șina rezemată continuu pe mediu elastic  
Figura 3.13. Linii de influență pentru  $\eta_M$  și  $\eta_Y$   
Figura 3.14. Șina așezată pe reazeme elastice punctiforme  
Figura 3.15. Schema de încărcare așinei pentru metoda simplificată a lui Zimmermann  
Figura 3.16. Eforturi din frânare dezvoltată de o roată  
Figura 3.17. Eforturi din frânare dezvoltată de un tren când rezistențele  $p$  sunt mici  
Figura 3.18. Eforturi din tracțiune dezvoltată de vehicule motor când rezistențele  $p$  sunt mici  
Figura 3.19. Izobarele la presiunea de contact  
Figura 3.20. Variația  $\sigma_a$  în timp  
Figura 3.22. Schema de calcul pentru metoda aproximativă  
Figura 3.22. Schema de calcul pentru metoda mai exactă  
Figura 3.23. Schema de calcul în ipoteza cea mai defavorabilă  
Figura 3.24. Rezemare în zona blocheților  
Figura 3.25. Rezemare pe blocheți și parțial pe mijlocul traversei  
Figura 3.26. Rezemare uniformă pe toată talpa traversei  
Figura 3.27. Presiuni uniform distribuite în zona blocheților  
Figura 3.28. Variația liniară a presiunilor în zona blocheților  
Figura 3.29. Schema de calcul pentru antedimensionarea traversei când rezemarea se face doar în zona blocheților  
Figura 3.30. Schema de calcul pentru antedimensionarea traversei semirezemate în zona centrală  
Figura 3.31. Solicitări asupra prinderii  
Figura 3.32. Rezistența dată de prindere la deplasarea în lung a șinei  
Figura 3.33. Solicitări la joante  
Figura 3.34. Repartizarea presiunilor  
Figura 3.35. Diagrame de presiuni sub talpa traversei în calculul aproximativ  
Figura 3.36. Repartizarea presiunilor în adâncime sub talpa traversei  
Figura 3.37. Repartizarea presiunilor în adâncime după izobare drepte  
Figura 3.38. Repartizarea tridimensională a presiunilor sub traversa rigidă  
Figura 3.39. Presiuni și deformații în stratul de piatră spartă  
Figura 4.1. Fenomenul de rezonanță  
Figura 4.2. Săgeata  
Figura 4.3. Pichetarea unei curbe  
Figura 4.4. Diagramele (E) și (P)  
Figura 4.5. Legătura dintre ripări și săgeți  
Figura 4.6. Săgeți în jurul punctelor AR și RC  
Figura 4.7. Diagramele (E) și (P) pentru curba retrasată  
Figura 4.8. Legătura dintre ripare și săgeți  
Figura 4.9. Diagramele (E) și (P)  
Figura 4.10. Schema vagonului „derrailleur”  
Figura 4.11. Schema vagonului cu boghiul blocat  
Figura 4.12. Raportul între forțele H și Q

- Figura 5.1. Secțiune transversală printr-o cale de rulare în soluție vibroabsorbantă
- Figura 5.2. Schema de încărcare recomandată de RILEM
- Figura 5.3. Determinarea tensiunii după rupere conform normativului JSCE SF-4
- Figura 5.4. Diagramele încercărilor efectuate
- Figura 5.5. Etape de realizare a unei linii înierbate
- Figura 5.6. Discretizarea modelului în Axis VM
- Figura 5.7. Deplasarea pe verticală
- Figura 5.8. Momentele încovoietoare pe direcția X
- Figura 5.9. Momentele încovoietoare pe direcția Y
- Figura 5.10. Discretizarea modelului în Axis VM
- Figura 5.11. Deplasarea pe verticală
- Figura 5.12. Momentele încovoietoare pe direcția X
- Figura 5.13. Momentele încovoietoare pe direcția Y
- Figura 5.14. Armarea dalei din beton utilizată la trecerile la nivel din mun. Arad
- Figura 6.1. Elemente din oțel pentru fixarea senzorilor de vibrații
- Figura 6.2. Puncte de măsurare a vibrațiilor
- Figura 6.3. Funcțiile de transfer ale nivelului vibrațiilor între partea carosabil și clădire
- Diagramele de transfer ale accelerației vibrațiilor între punctul:
- Figura 6.4. MP1 și punctele MP2, MP3 și MP3A, pe verticală (Z), înainte de reconstrucție
- Figura 6.5. MP1 și punctele MP2, MP3 și MP3A, pe verticală (Z), după reconstrucție
- Figura 6.6. MP1 și punctele MP2, MP3 și MP3A, pe direcția Y, după reconstrucție
- Valorile vibrațiilor la trecerile autocamionului IFA peste limitatorul de viteză,  
Studiul propagării vibrației la parterul clădirii, punct de măsurare:
- Figura 6.7. MP1 pe direcția verticală (Z);
- Figura 6.8. MP2 pe direcția verticală (Z);
- Figura 6.9. MP3A pe direcția verticală (Z);
- Figura 6.10. MP1, MP2, MP3A pe direcția verticală (Z) (nivel maxim al accelerației);
- Figura 6.11. MP1 pe direcția (Y);
- Figura 6.12. MP1, MP2, MP3A pe direcția verticală (Z) (viteza maximă a vibrației);
- Figura 6.13. MP2 pe direcția (Y);
- Figura 6.14. MP3A pe direcția (Y);
- Figura 6.15. MP1, MP2, MP3A pe direcția (Y) (nivel maxim al accelerației);
- Figura 6.16. MP1, MP2, MP3A pe direcția (Y) (viteza maximă a vibrației);

**LISTA TABELELOR:**

Tabelul 1.1.	Curbele liniilor industriale
Tabelul 1.2.	Viteze maxime ale C.F.I.
Tabelul 1.3.	Raze minime la C.F.I.
Tabelul 1.4.	Raze minime la C.F.I. în stații
Tabelul 1.5.	Declivități maxime la C.F.I.
Tabelul 1.6.	Racordarea elementelor de profil la C.F.I.
Tabelul 1.7.	Lățimea prismeii căii la C.F.I.
Tabelul 1.8.	Lățimea platformei căii la C.F.I.
Tabelul 3.1.	Coeficienți dinamici stabiliți experimental în Franța
Tabelul 3.2.	Coeficienți dinamici stabiliți de C.F.R.
Tabelul 3.3.	Caracteristicile șinelor grele
Tabelul 3.4.	Valori ale presiunilor în stratul de piatră spartă
Tabelul 4.1.	Abateri maxime la săgeți conform Instrucției 314/1989
Tabelul 4.2.	Retrasarea curbei prin metoda Cassan
Tabelul 4.3.	Refacerea retrăsării aceleiași curbe prin metoda Cassan
Tabelul 4.4.	Retrasarea curbei prin metoda ripărilor succesive
Tabelul 6.1.	Valorile admise ale vitezei de propagare a vibrațiilor
Tabelul 6.2.	Viteza maximă de propagare a vibrațiilor
Tabelul 6.3.	Accelerația maximă a vibrațiilor
Tabelul 6.4.	Viteza maximă de propagare a vibrațiilor
Tabelul 6.5.	Valorile maxime ponderate ale accelerației vibrației pe direcții de măsurare
Tabelul 6.6.	Trafic de perspectivă (2023) [vehicule/zi]
Tabelul 6.7.	Vibrații generate în mediul înconjurător estimate în raport cu traficul de perspectivă

## Capitolul 1. PARTICULARITĂȚI ALE LINIILOR FERATE URBANE

O parte însemnată a transporturilor de călători și de marfă în mediu urban se desfășoară pe "șine". O mare parte a liniilor ferate ale administrației feroviare (în special stațiile de cale ferată) se află în zone locuite (comune, orașe, metropolitane). În localitățile cu unități industriale mari există linii ferate industriale destinate în exclusivitate transporturilor de mărfuri. Multe orașe mari au în exploatare zeci de kilometri de linii de tramvai, unele fiind amplasate pe străzi înguste, în apropierea unor obiective care trebuie protejate. În multe orașe mari pentru rezolvarea transporturilor în comun au fost realizate linii de metrou terane sau subterane.

Pentru realizarea unor asemenea linii de cale ferată sau căi de rulare au fost concepute diferite soluții pentru realizare suprastructurii căii dar și a infrastructurii acesteia. Geometria acestor linii respectă în general condițiile impuse la căile ferate clasice dar prezintă și o serie de particularități.

Pe lângă liniile ferate urbane sus - menționate mai există o serie de tipuri de suprastructuri și infrastructuri speciale utilizate la realizarea trecerilor la nivel, a căii pe podurile cu sau fără cuvă de balast, la liniile în tuneluri, la liniile utilizate în scop turistic sau la căile de rulare pentru macarale.

### 1.1. Căi ferate în mediu urban

Majoritatea căilor ferate inclusiv stațiile au fost inițial construite în afara localităților. Dezvoltarea multor localități (creșterea populației, avântul economic, amplasarea multor unități economice în vecinătatea căii ferate etc.) a dus la situația actuală în care liniile ferate și stațiile se află în mijlocul orașelor.

Modernizarea căilor ferate existente și/sau construirea de linii ferate noi (în special cele pentru viteze sporite sau mari) a dus la necesitatea găsirii unor soluții tehnice corespunzătoare, corecte, eficiente, care să fie în echilibru cu mediul urban, să fie suficient de prietenoase, să nu dăuneze mediului (poluarea fonică, vibrații etc.).

Administrațiile feroviare au elaborat o serie de norme, instrucțiuni, reglementări, standarde pentru realizarea de căi ferate în general și a celor urbane, în special.

Căile ferate urbane sunt deosebit de importante în realizarea transporturilor de călători în localități. Sunt caracterizate prin capacitatea mare de transport, distanța mică între stații și durata mică necesară pentru urcarea și coborârea călătorilor. Există două categorii mari de căi ferate (linii) urbane: cele înglobate în carosabil și cele în pat propriu.

Importanța transportului de călători pe șine a crescut în aglomerările urbane unde a sporit vertiginos numărul locuitorilor, în special în zonele periurbane. Soluțiile aplicate depind de următoarele:

- modernizarea căilor existente de transport respectiv construcția de linii urbane noi necesită investiții mari, care de cele mai multe ori nu sunt la îndemâna primăriilor, chiar dacă este vorba de marile metropole ale lumii;
- lucrările necesare pentru modernizarea sau construcția liniilor urbane perturbă viața de zi cu zi a localității.

Parametri tehnici privind transportul public urban de călători sunt reglementați în SR 13342 din 1996. Acest standard specifică parametrii tehnici principali și cei de

## Particularități ale liniilor ferate urbane

performanță în exploatarea sistemului de transport public cu tramvaiul sau cu metroul, ca de exemplu:

- posibilități de prelucrare a fluxurilor de călători în trafic mixt în cazul tramvaielor articulate: 7000 călători/h și sens;
- posibilități de preluare a fluxurilor de călători pe cale proprie:
  - tramvaie articulate: 13000 călători/h și sens;
  - metrou: cel puțin 30000 călători/h și sens;
- densitatea materialului rulant:
  - 1,5...2,5 garnituri de tramvaie/km;
  - 1...2 rame de metrou/km;
- maxim două transbordări acceptate;
- distanța recomandată între stații (valoare medie):
  - tramvaie: 500 m;
  - metrou: 1,25...1,5 km;
- viteză de exploatare:
  - tramvaie: 10...12 km/h;
  - metrou: 26...30 km/h;
- viteză comercială:
  - tramvaie: 12...14 km/h;
  - metrou: 30...35 km/h;
- modul de integrare a sistemelor de transport public urban de suprafață cu cele de metrou:
  - trasee distincte;
  - trasee parțial comune;
  - sisteme integrate de transport.

În privința căii de rulare parametri tehnici mai importanți sunt:

- ecartamentul: normal (1435 mm), îngust (1000 mm);
- macaze cu sisteme de încălzire pe timp de iarnă.

SR 13353-1 din 1996 (Calea de rulare a tramvaielor. Clasificare și condiții tehnice generale) impune și alte condiții tehnice cum ar fi:

- sarcina maximă admisibilă pe osie: 10 t;
- viteza tehnică maximă admisibilă: 70 km/h;
- distanța minimă între axele liniilor duble în aliniament:
  - fără stâlpi în ax: 3000 mm;
  - cu stâlpi în ax: 3500 mm;
  - aceste distanțe sporesc în curbe cu valori determinate prin calcul;
- raza minimă: 18...20 m;
- declivitate maximă: 5% (excepțional 8%, în stații 0,2%).

În ceea ce privește infrastructura și suprastructura liniilor de tramvai standardele 13353-1...6 /1996 oferă o serie de informații.

### 1.2. Particularități privind proiectarea și construcția liniilor de tramvai

Totalitatea construcțiilor, instalațiilor și dotărilor care asigură transportul de călători pe un traseu determinat se numește „linie de transport public”. Transportul public urban se poate efectua cu autobuze, microbuze, metrou, metrou ușor, ramă electrică, troleibuze sau tramvaie.

Circulația tramvaielor se face pe o „cale de rulare” care este un sistem constructiv cu șine.

Linii de tramvai se pot clasifica după mai multe criterii, astfel:

- a) după destinație și funcționalitate:
  - linii curente;
  - linii în depouri;
  - linii de acces în depouri;
- b) după ecartament:
  - linii cu ecartament normal (1435 mm);
  - linii cu ecartament îngust (1000 mm);
- c) după numărul de fire de circulație:
  - linii simple;
  - linii duble;
- d) după poziția față de partea carosabilă a străzii:
  - linii înglobate în partea carosabilă (în axa străzilor, pe o parte a părții carosabile sau lateral pe ambele părți ale părții carosabile);
  - linii cu platformă proprie la nivel cu partea carosabilă (având poziția față de axastrăzii ca și la punctul anterior);
  - linii cu platformă proprie la nivel cu partea carosabilă a străzii, separate numai prin linii continue de marcaj rutier;
  - linii în afara părții carosabile;
- e) după tipul de șină:
  - linii cu șină cu canal;
  - linii cu șină tip CF așezate pe traverse (din beton sau din lemn) respectiv pe blocheți de beton;
  - linii cu șine pozate în longrine sau dale de beton.

### 1.3. Particularități privind elementele geometrice

Raza minimă a curbilor circulare este:

- $R_{min} = 20$  m, la linii curente;
- $R_{min} = 18$  m, la linii în depouri.

În cazul utilizării curbilor progresive (de preferință clotoide) acestea vor avea lungimea minimă ( $l_{min}$ ) în funcție de valoarea supraînălțării efective ( $h_{ef}$ ) astfel încât să fie respectate simultan următoarele trei condiții:

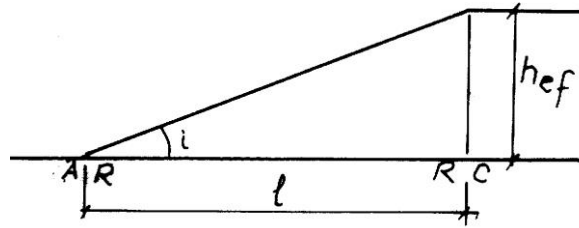
- torsionarea căii pe rampa supraînălțării să nu depășească valoarea de 1:400;
- viteza de ridicare a roții pe firul exterior ( $V_r$ ) să nu depășească 0,1 km/h în condiții normale sau 0,125 km/h în condiții dificile de traseu;
- variația insuficienței de supraînălțare ( $l$ ) pe lungimea racordării să nu depășească 75 mm/s în condiții normale sau 90 mm/s în condiții dificile de traseu; insuficiența maximă de supraînălțare este de 90 mm.

Din prima condiție (figura 1.1) rezultă:

$$i \cong \tan i = \frac{h_{ef}}{1000 \cdot 1} \leq \frac{1}{400} \Rightarrow l_{min} = 0,4 \cdot h_{ef} \quad [\text{mm}] \quad (1.1.)$$



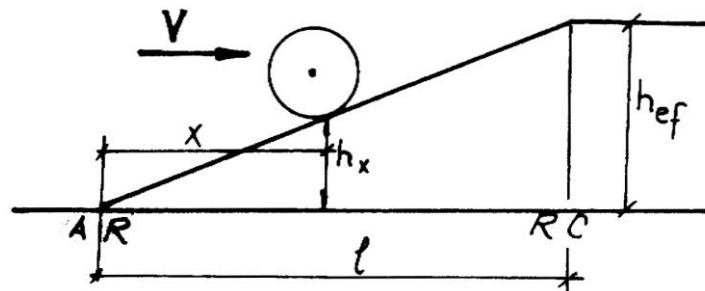
## Particularități ale liniilor ferate urbane



**Fig. 1.1.** Rampa supraînălțării

Din cea de-a doua condiție (figura 1.2) rezultă:

$$V_r = \frac{dh_x}{dt} = \frac{dh_x}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = i \cdot V = \frac{h_{ef}}{1000 \cdot l} \cdot V \leq V_{r_{max}} \Rightarrow l_{min} = \frac{V \cdot h_{ef}}{1000 \cdot V_{r_{max}}} [m] \quad (1.2)$$



**Fig. 1.2.** Viteza de ridicare a roții

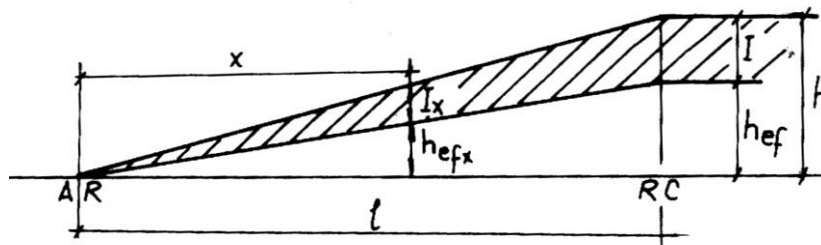
Pentru  $V_{max} = 0,1$  km/h se obține:

$$l_{min} = 0,01 \cdot V \cdot h_{ef} [m] \quad (1.3)$$

Pentru  $V_{r_{max}} = 0,125$  km/h rezultă:

$$l_{min} = 0,008 \cdot V \cdot h_{ef} [m] \quad (1.4)$$

Din cea de-a treia condiție (figura 1.3) rezultă:



**Fig. 1.3.** Variația insuficienței de supraînălțare

$$\frac{dI_x}{dt} = \frac{dI_x}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = v \cdot \frac{I}{l} \leq \left( \frac{dI_x}{dt} \right)_{\max}$$

Pentru  $\left( \frac{dI_x}{dt} \right)_{\max} = 75 \text{ mm/s}$  se obține:

$$l_{\min} = \frac{v \cdot I_{\max}}{75} = \frac{V \cdot 90}{3,6 \cdot 75} \Rightarrow l_{\min} = \frac{V}{3} \text{ [m]} \quad (1.5)$$

Pentru  $\left( \frac{dI_x}{dt} \right)_{\max} = 90 \text{ mm/s}$  rezultă:

$$l_{\min} = \frac{V}{3,6} \text{ [ m ]} \quad (1.6)$$

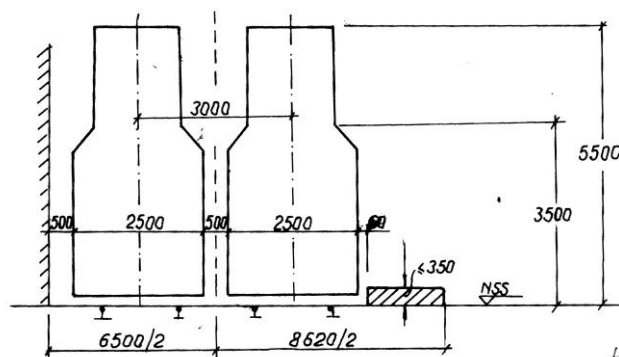
$$\text{Se observă că } h_{ef} = h - I \Rightarrow h_{ef} = 11,8 \cdot \frac{V^2}{R} - I \text{ [mm]} \quad (1.7)$$

Se menționează că în cazul căii de rulare înglobate în carosabil aceste condiții se corelează cu condițiile locale.

Între două curbe succesive de sens contrar, în linie curentă, trebuie introdus un aliniament de cel puțin 10 m.

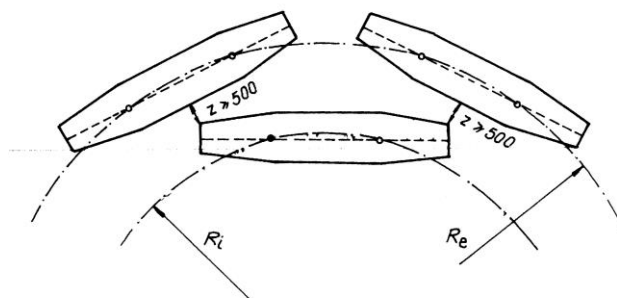
În cazul liniilor de tramvai având ecartament normal abaterea maximă la ecartament la construcție este de - 2...0 mm. Supralărgirea căii de rulare (realizată cu șine de tramvai având lățimea canalului mai mare de 42 mm sau cu șină de cale ferată) se calculează în funcție de caracteristicile materialului rulant. În cazul șinelor de tramvai având lățimea jgheabului de cel mult 42 mm nu se prevede supralărgire în curbe.

Distanța dintre axele căilor de rulare alăturate în aliniament trebuie să fie de cel puțin 3 m la care se adaugă (în cazul amplasării stâlpilor de susținere a liniei de contact între firele duble) diametrul acestor stâlpi, dar nu mai puțin de 50 cm. Nu se amplasează stâlpi în axa căii de rulare duble în curbă dacă raza curbei este mai mică de 50 m. În depouri sau platforme de parcare distanța minimă între axele căilor alăturate este de 4 m. În curbe se adaugă sporuri în funcție de suprafețele de măturare ale vagoanelor. În figura 1.4 sunt prezentate date privind gabaritul pentru calea de rulare a tramvaielor fără stâlpii de susținere a liniei de contact amplasați în ax, cu sau fără refugii pentru pietoni (dimensiunile în mm).



**Fig. 1.4. Gabarit pentru calea de rulare**

În figura 1.5 este prezentată schema pentru calculul gabaritului pentru calea de rulare dublă în curbă.



**Fig. 1.5.** Gabarit pentru calea de rulare dublă în curbă

În legătură cu profilul în lung se arată că elementele de profil trebuie să aibă lungimea minimă de 30 m. Racordarea elementelor de profil se face cu arce de cerc având  $R_{v\min} = 1000$  m. Declivitatea maximă ( $i_{\max}$ ) în aliniament este de 8 %. În curbe această declivitate se diminuează cu rezistența specifică ( $i_c$ ) dată de curbe:

$$i_c = \frac{50}{R} [ \% ] ; \quad i_{\max c} = i_{\max} - i_c [ \% ] \quad (1.8)$$

În depouri sau platforme de parcare declivitatea maximă este de 0,2 %.

Se recomandă încadrarea căilor de rulare ale tramvaielor atât în profil transversal cât și cel longitudinal al străzilor.

#### 1.4. Particularități privind căile ferate industriale

Căile ferate industriale (C.F.I.) sunt acele linii ferate care sunt exploatare de unități economice, altele decât administrația feroviară română. C.F.I. pot fi normale (cu ecartament normal, 1435 mm) și înguste (cu ecartament îngust de 760 mm sau 600 mm).

Particularitățile privind geometria C.F.I. sunt reglementate în STAS 4067/84 fiind obligatorii pentru liniile noi sau modernizarea celor existente, dacă pe ele circulă material rulant CFR și/sau sunt racordate la rețeaua CFR.

Clasificarea C.F.I. se poate face după mai multe criterii, astfel:

- după amplasament:
  - linii interioare (situate în incinta întreprinderii sau în afara incintei, pe care se fac transporturi între secțiunile întreprinderii);
  - linii exterioare (racorduri situate în afara incintei întreprinderii);
- după rolul funcțional:
  - linii interioare și din stații (de primire – expediere, de triere, de circulație, de garare, de încărcare – descărcare, de revizie, de echipare, de remizare, de evitare, de scăpare, la poduri basculă etc.);
  - linii exterioare (de racord cu rețeaua CFR, de legătură între incintă și sursele de aprovizionare cu materii prime, de legătură între incinte).

##### 1.4.1. Particularități ale traseului în plan

Curbele pot fi arce de cerc cu sau fără racordări, cu sau fără supraînălțări. În cazul C.F.I. cu ecartament normal curbele în plan sunt conform tabelului 1.1.

Tabelul 1.1. Curbele liniilor industriale

Felul liniilor	$V_{max}$ [km/h]	Felul curbelor
interioare; abătute în stații	$\leq 35$	circulare, fără supraînălțare
exterioare, de cel mult 3 km lungime	$35 \leq V_{max} \leq 60$	circulare, cu supraînălțare
exterioare, mai lungi de 3 km	$35 \leq V_{max} \leq 60$	circulare, cu racordări parabolice și supraînălțare

Vitezele maxime de circulație [în km/h] sunt date în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2. Viteze maxime la C.F.I.

R [m]	$V_{max}$ [km/h]		
	Fără racordări și fără supraînălțări	Cu racordări și fără supraînălțări	Cu racordări și cu supraînălțări
100	20	20	20
125	25	30	35
150	25	35	40
180	30	40	50
200	35	45	55
225	35	45	60
250	40	50	60
300	45	50	60
350	50	55	60
400	55	60	60
$\geq 500$	60	60	60

Razele minime [în m] ale curbelor circulare sunt date în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3. Raze minime la C.F.I.

Vagoane de marfă remorcate cu mijloace CFR care circulă pe :			Vagoane de marfă remorcate cu mijloacele întreprinderii, care circulă pe:	
linii exterioare		linii interioare în condiții de ocupare optimă a incintei	linii noi	
în condiții obișnuite de relief	în condiții grele de relief		exterioare, în condiții grele de relief	linii interioare, în condiții de amp. limitată
200	180	160	150*	100

\* Raza poate fi micșorată până la 100 m, dacă se folosesc traverse de beton cu asigurarea prinderii contrașinei.

Dacă pe C.F.I. circulă în exclusivitate material rulant tehnologic uzinal, raza minimă va fi cea admisă de materialul rulant respectiv. În cazuri excepționale razele minime din tabelul 2.14 se pot micșora până la valorile limită admise pentru siguranța circulației, astfel:

- pentru material rulant uzinal,  $R_{min} = 40$  m cu aprobarea beneficiarului;
- pentru material rulant CFR,  $R_{min} = 75$  m cu aprobarea forului tutelar CFR.

În toate cazurile când  $R < 150$  m se prevăd contrașine la firul interior. Pentru razele de 40...74 m, firul exterior se alcătuiește dintr-un dispozitiv cu placă astfel încât să permită ridicarea buzelor bandajelor de la roțile exterioare pentru ca ele să circule pe placa de rulare. Lățimea plăcii de rulare va fi de cel puțin 110 mm.

În cazul curbelor circulare de pe linia directă (din stații) se pot adopta razele minime (în m) din tabelul 1.4. În paranteză sunt notate valorile limită pentru situații deosebite, bine justificate.

Tabelul 1.4. Raze minime la C.F.I. în stații

Material rulant CFR		Material rulant uzinal	
în condiții obișnuite de relief	în condiții grele de relief	în condiții obișnuite de relief	în condiții grele de relief
300 (200)	180 (160)	200	100

Racordarea a două curbe circulare succesive ce același sens, fără racordări parabolice, cu sau fără supraînălțări se face:

- printr-un aliniament de cel puțin 20 m;
- fără aliniament, cu tangentă comună în punctul de contact.

Racordarea a două curbe circulare de sens contrar, fără racordări parabolice se realizează astfel:

- printr-un aliniament de cel puțin 20 m dacă supraînălțările  $h_1$  și  $h_2$  sunt nule;
- printr-un aliniament de cel puțin  $20 + 0,4 (h_1 + h_2)$  [m] dacă  $h_1$  și  $h_2 \neq 0$ ;
- printr-un aliniament de cel puțin  $0,4 (h_1 + h_2)$  [m], în condiții speciale;
- fără aliniament, dacă supraînălțările sunt nule cu tangentă comună în punctul de contact.

Viteza maximă cu care se poate circula pe ansamblul curbilor circulare de mai sus este cea corespunzătoare curbei cu rază mai mică. Excepție face ultimul caz (curbe succesive de sens contrar fără aliniament între ele) pentru care:

$$V_{max} = 2,54 \times \sqrt{\frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}} \quad [\text{km/h}] \quad (1.9)$$

Supralărgirea căii are valorile reglementate de instrucțiunile CFR în vigoare. Variația maximă a supralărgirii este de 2 mm/m, la liniile interioare putând fi de 3 mm/m cu condiția ca să se realizeze pe cel puțin 5 m.

Supraînălțarea ( $h$ ) se prevede pe toată lungimea curbei:

$$h = 8 \times \frac{V_{max}^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad (1.10)$$

Rampa supraînălțării nu va depăși 2,5 mm/m (adică 1:400).

#### 1.4.2. Particularități privind profilul longitudinal

Declivitățile maxime sunt prezentate în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5. Declivități maxime la C.F.I.

Felul liniei	Declivitatea maximă [‰]		Lungimea minimă a elementelor de profil [m]		
			Linii exterioare		Linii interioare
	relief obișnuit	relief greu	relief obișnuit	relief greu	
Linii CFI obișnuite	15	30	50	30	20
Linii de acces la estacade, cu tracțiune Diesel sau electrică	-	40	-	-	-
Linie de acces la estacade, tracțiune cu aburi	-	30	-	-	-

Declivitățile maxime trebuie să țină seama atât de tonajul brut maxim al convoaielor de remorcat cât și de puterea mijloacelor de tracțiune.

În stații, liniile de încărcare-descărcare pe porțiunea de staționare a vagoanelor se proiectează de regulă în palier, admițându-se declivitatea maximă de 1,5 ‰. În cazuri excepționale (asigurarea contra fugirii vagoanelor) se admit declivități maxime de 8 ‰ sau chiar mai mari.

Linia la podul-basculă trebuie să fie în palier inclusiv pe 20 m pe fiecare parte a podului-basculă.

Elementele de profil se racordează prin arce de cerc având razele minime (în m) din tabelul 1.6.

Tabelul 1.6. Racordarea elementelor de profil la C.F.I.

Linii exterioare	Linii interioare		Linii de manevră, de garare, în depouri, ateliere și depozite
	relief obișnuit	relief greu	
2000	2000	1000	500

### 1.4.3. Particularități privind profilurile transversale tip

În figura 1.6 este prezentat un profil transversal tip pentru C.F.I. pentru aliniament sau curbă fără supraînălțare.

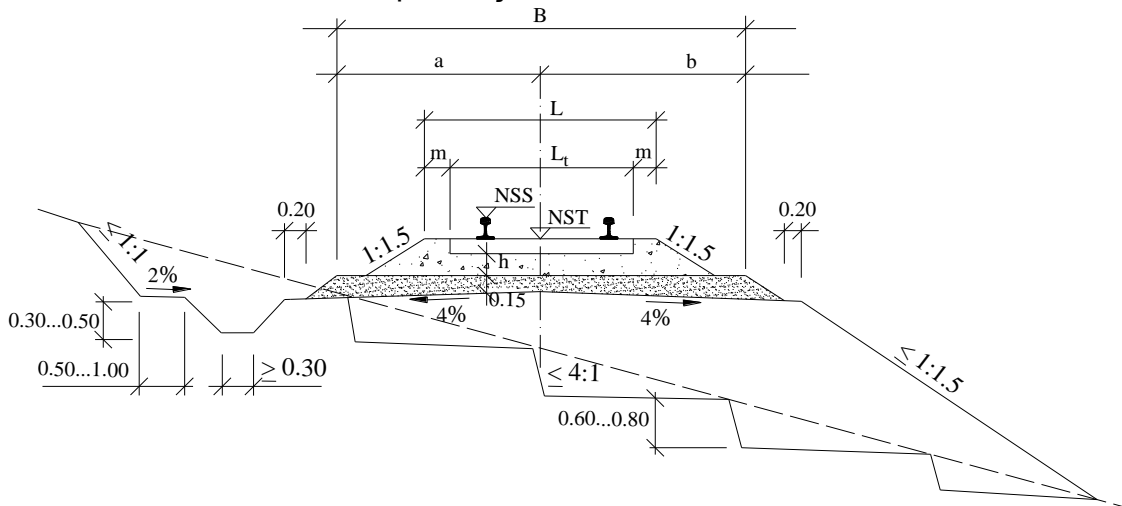


Fig. 1.6. Profil transversal tip C.F.I. fără supraînălțare

Lățimea prismei căii (L), lungimea traversei (Lt), umărul prismei căii (m) și grosimea prismei căii sub traverse (h) sunt date în tabelul 1.7.

Tabelul 1.7. Lățimea prismei căii la C.F.I.

Felul liniilor	Amplasamentul liniilor	$V_{max}$ [km/h]	Felul traverselor	$L_t$ [m]	m [m]	L [m]	h [cm]
permanente	exterioare	(35...60]	beton	2,50	0,25	3,00	30
			lemn	2,50	0,25	3,00	25
	exterioare și interioare	$\leq 35$	beton	2,50	0,20	2,90	25
			lemn	2,40	0,25	2,90	20
provizorii (> 5 ani)	-	$\leq 35$	beton	2,50	0,10	2,70	-
			lemn	2,30	0,15	2,60	-

Valorile din tabelul 1.7 sunt minime. Umărul (m) sporește cu 10 cm în exteriorul curbei dacă  $R < 800$  m.

Prisma căii poate fi realizată din:

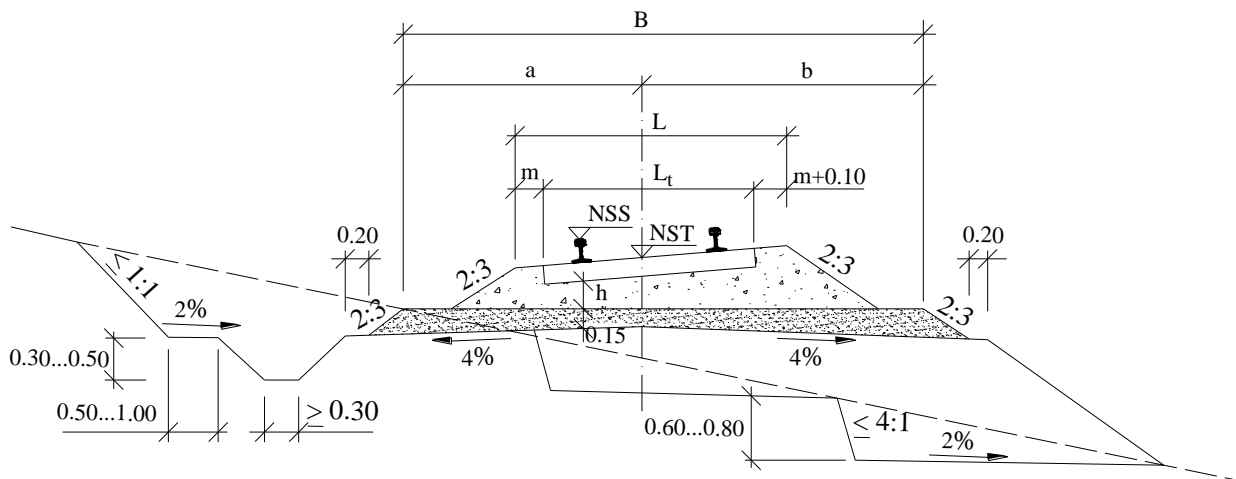
- piatră spartă dublu concasată (numai în situații deosebite);

## Particularități ale liniilor ferate urbane

- piatră spartă simplu concasată;
- pietriș neciuruit (dacă  $V_{max} < 40$  km/h);
- nisip 0,1...7 mm (linii provizorii);
- zgură acidă metalurgică 25...70 mm (linii provizorii).

În figura 1.7 este prezentat un profil transversal tip pentru C.F.I. în curbă cu supraînălțare.

Trecerea de la lățimea „a” în aliniament la lățimea „b” în curbă se face pe lungimea rampei supraînălțării.



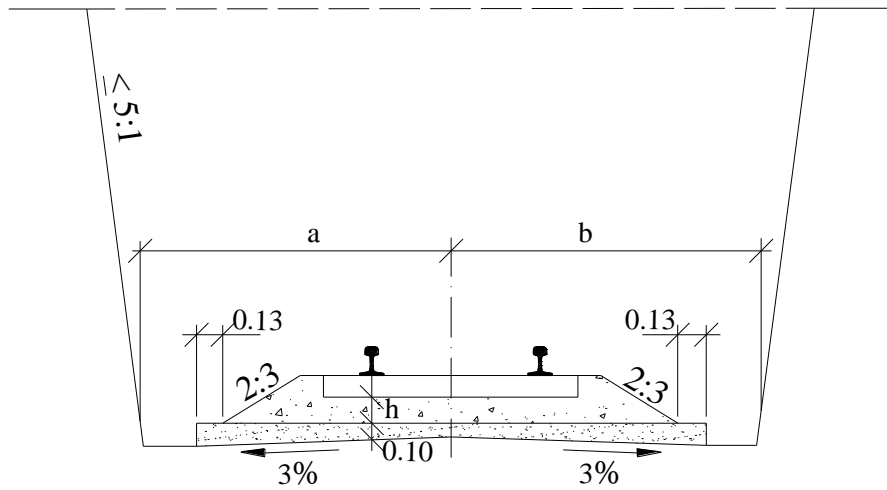
**Fig. 1.7. Profil transversal C.F.I. cu supraînălțare**

Lățimea platformei (B) are valorile din tabelul 1.8.

**Tabelul 1.8. Lățimea platformei căii la C.F.I.**

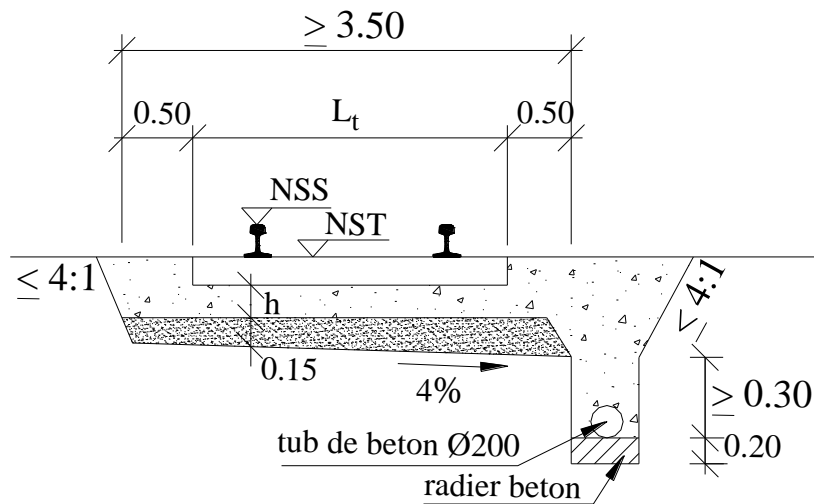
Felul liniilor	Amplasamentul liniilor	$V_{max}$ [km/h]	Felul liniei și amenajarea curbei	R [m]	Dimensiuni [m]		
					a	b	B
permanente	exterioare	(35...60)	aliniamente și curbe circulare cu supraînălțări	$\geq 800$	2,50	2,70	5,20
				(180...800)	2,50	2,80	5,30
	interioare și abătute în stații	$\leq 35$	aliniamente și curbe circulare fără supraînălțări	(160...800)	2,50	2,60	5,10
				(160...800)	2,50	2,50	5,00
provizorii (> 5 ani)	-	$\leq 35$	aliniamente și curbe circulare fără supraînălțări	$\geq 100$	2,50	2,50	5,00

În figura 1.8 este prezentat un profil transversal tip de debleu în stâncă, cu platformă fără șanțuri. Lățimea platformei este de 3 m dacă  $R \geq 350$  m și sporește în curbele având  $R < 350$  m cu valorile stabilite în STAS 4392-84 (Gabarite). Prisma căii se încadrează cu borduri având rosturi de 3 ... 4 cm la intervale de cel puțin 2 m.

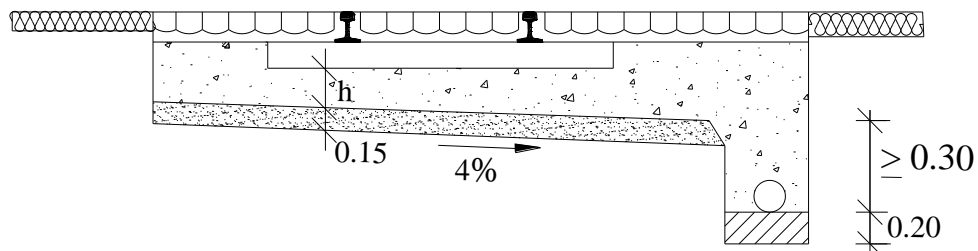


**Fig. 1.8.** Profil transversal tip de debleu în stâncă pentru C.F.I.

În figurile 1.9 și 1.10 sunt prezentate două profiluri transversale tip pentru linii industriale îngropate.



**Fig. 1.9.** C.F.I. înglobată



**Fig. 1.10.** C.F.I. înglobată în carosabil

Ultimul profil transversal tip (figura 15) se aplică la treceri la nivel, depozite sau hale cu pardoseli, zone cu circulație rutieră. Sistemul rutier în zona liniei se realizează de obicei cu pavele, dale prefabricate demontabile, beton simplu monolit,



beton asfaltic. În toate cazurile trebuie asigurată lățimea jgheabului pentru circulația materialului rulant.

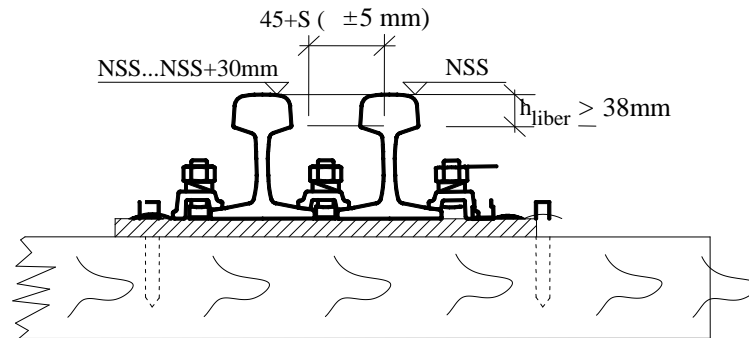


Fig. 1.11. Trecere la nivel cu contrașine

## 1.5. Particularități ale liniilor de metrou

Pentru a rezolva problemele cauzate de transportul călătorilor în marile aglomerări urbane au fost realizate linii ferate separate de sistemul stradal. Astfel au fost realizate linii pe estacade sau linii subterane (metrouri). Prima linie de metrou subterană a fost realizată la Londra în 1863 iar de atunci în peste 100 de metropole este utilizat acest tip de transport cu capacitatea de până la 50000 de călători pe oră și pe sens de circulație cu  $V_{med}=30...40$  km/h. Avantajele liniilor metropolitane sunt:

- cale independentă de celelalte căi de comunicație;
- viteze maxime de 80...100 km/h;
- independență față de condițiile meteorologice;
- exploatare simplă;
- pot fi utilizate instalații moderne și eficiente de siguranța circulației;
- capacitate mare de transport.

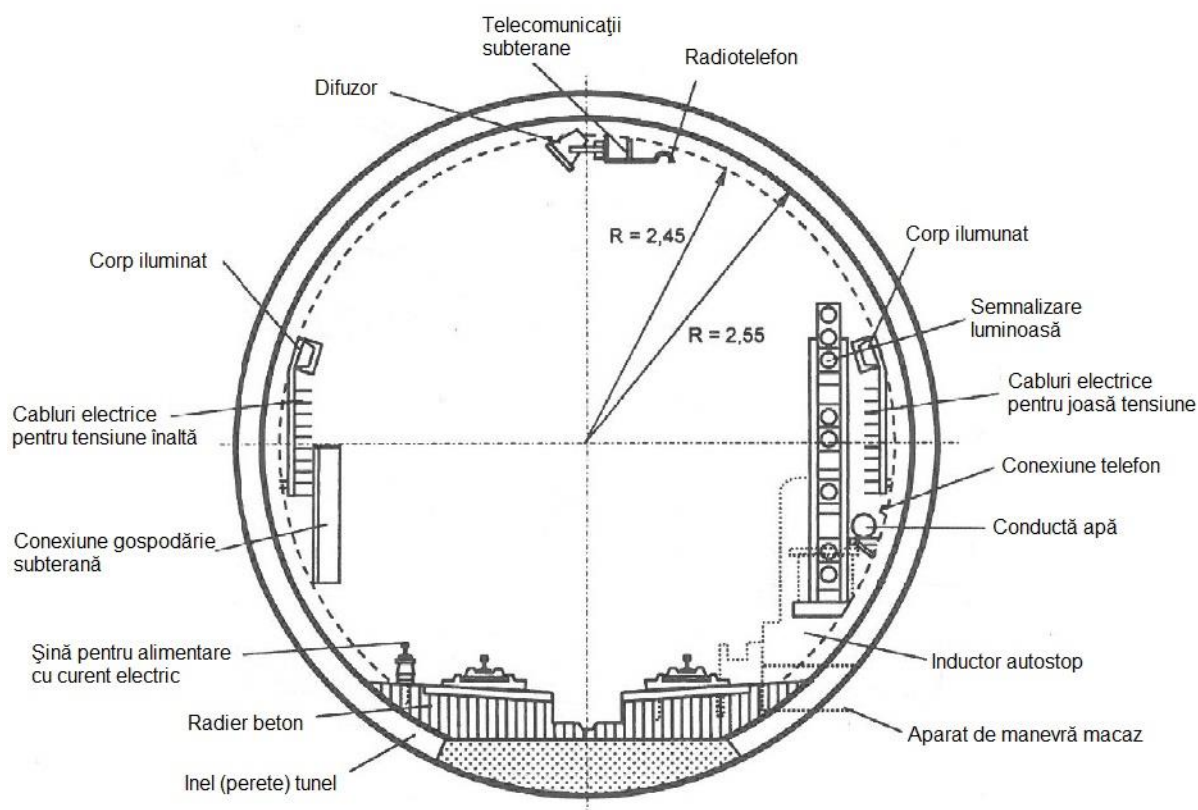
Trebuie amintite și unele dezavantaje:

- cheltuieli de investiție mari;
- trebuie rezolvate o serie de probleme cauzate de gospodăria subterană (protecție, mutare, refacere);
- pot fi necesare lucrări speciale pentru prevenirea tasării clădirilor și construcțiilor apropiate de traseul liniei.

În figura 1.12 este prezentată o secțiune printr-un tunel pentru o linie metropolitană subterană de adâncime (20...40 m).

În privința liniilor metropolitane au fost definite următoarele cerințe:

- grosime minimală a structurii;
- cheltuielile minime de întreținere și reparații;
- rezolvarea evacuării eventualelor ape infiltrate;
- utilizarea unei a treia șine pentru alimentarea cu energie electrică a materialului rulant în loc de montarea liniei de contact; astfel se poate reduce gabaritul de liberă trecere în tunel;
- suprastructura să corespundă din punct de vedere al poluării fonice și a vibrațiilor.



**Fig. 1.12. Secțiune tunel metrou**

## 1.6. Particularități ale căilor de rulare pentru macarale

La realizarea căilor de rulare pentru macarale se are în vedere sarcina statică mare pe roată care practic nu sporește în exploatare deoarece la viteze nesemnificative și efectul dinamic este redus. Se recomandă ca înălțimea totală a suprastructurii să fie cât mai redusă. Pe lângă căile de rulare clasice cu șină (40 sau 49, de obicei fără înclinare) fixate pe traverse (din lemn sau beton, având lungime normală sau redusă) așezate pe un strat de piatră spartă sunt realizate și căi de rulare moderne.

## 1.7. Concluzii și recomandări

Concluziile cele mai importante care pot fi trase din cele prezentate, sunt următoarele:

- transportul urban de mărfuri și (în special) de călători are nu numai trecut și prezent, dar și un viitor cert; transportul pe șine a călătorilor în marile aglomerări urbane în continuă dezvoltare rămâne o soluție eficientă;
- normele, normativele, standardele, instrucțiunile care reglementează proiectarea, construcția și exploatarea liniilor ferate urbane sunt diverse, insuficient documentate, unele greu aplicabile, chiar contradictorii;
- alegerea corectă a suprastructurii și/sau a infrastructurii liniei ferate urbane poate fi o misiune dificilă din punct de vedere tehnic, totuși ea este lăsată de multe ori în sarcina unor persoane nepregătite, incompetente sau cu interese incompatibile cu statutul lor;

## Particularități ale liniilor ferate urbane

- în proiectarea și construcția liniilor ferate urbane rar se ține cont de materialul rulant care va circula pe această cale ferată; este posibil (practica o demonstrează) că linia ferată nu poate asigura transportul în siguranță și cu asigurarea condițiilor de confort a călătorilor.

Recomandările care rezultă firesc din concluziile de mai sus pot fi formulate astfel:

- societățile comerciale care proiectează, execută sau exploatează linii ferate urbane trebuie selectate, autorizate și agrementate de către o instituție de genul Autorității Feroviare Române;
- standardele, normele, normativele, instrucțiunile care reglementează proiectarea, construcția și exploatarea liniilor ferate urbane trebuie revizuite;
- în elaborarea temelor de proiectare să se aibă în vedere pe lângă condițiile minimale de exploatare (viteză maximă, tonaj maxim pe osie, durata de viață etc.) și, eventual, efectul acestui tip de transport asupra mediului înconjurător, și materialul rulant; alegerea soluțiilor tehnice în cazul liniilor ferate nu poate fi redusă la o problemă de cost.

## Capitolul 2. TIPURI DE SUPRASTRUCTURI DE LINII URBANE ȘI EVOLUȚIA ACESTORA

Liniile ferate urbane prezintă o mare diversitate a suprastructurilor. În acest capitol sunt prezentate tipuri de suprastructură (în unele cazuri și de infrastructură) pentru linii de tramvai (căi de rulare ale tramvaielor), căi ferate urbane, metrou și cale de rulare pentru macara.

### 2.1. Suprastructura căii de rulare a tramvaiului

Infrastructura căii de rulare este alcătuită din terasamente, lucrări de protejare și/sau consolidare ale terasamentelor, amenajări pentru colectarea, drenarea și evacuarea apelor. Infrastructura căilor de rulare înglobate în carosabil se dimensionează ținând seama de traficul rutier de pe artera respectivă.

La proiectarea căilor de rulare trebuie să se țină seama de corelarea cu rețelele edilitare (apă, canal, gaz, telefonie, tv cablu, etc.). Astfel subtraversările cu conducte trebuie realizate în tuburi de protecție, în afara zonelor aparatelor de cale, unghiul de intersecție dintre axa căii de rulare și axa conductei să fie de cel puțin 65°. Cota minimă a rețelilor subterane rezultă din condiția ca de la acestea până la fața superioară a terasamentului să fie cel puțin 40 cm.

Suprastructura căii de rulare se poate realiza astfel:

- cu șină de tramvai, care permite înglobarea suprastructurii în partea carosabilă;
- cu șine pozate în longrine sau dale de beton; acestea permit înglobarea suprastructurii în partea carosabilă;
- cu șine de cale ferată (tip 40 sau 49), așezate de obicei pe traverse, când linia este realizată pe platformă proprie.

Șinele căii de rulare se sudează (de obicei aluminotermic) eliminându-se joantele.

În figurile 2.1...2.4 sunt prezentate câteva profiluri transversale tip, respectiv detalii de fixare a șinei, prezentate în standardele românești și / sau utilizate la modernizarea liniilor de tramvai din Timișoara, Cluj-Napoca, Iași, București.

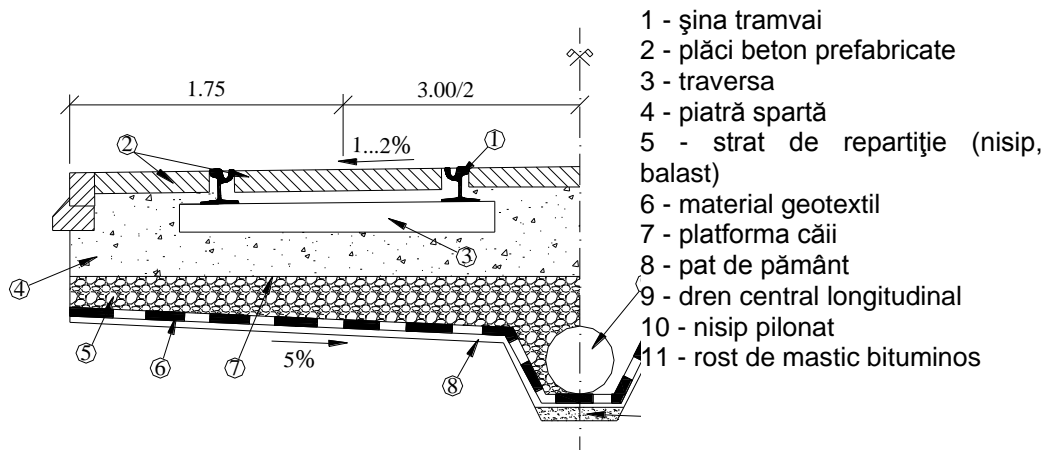
Alegerea suprastructurii liniilor de tramvai depinde de:

- caracteristicile drumului (secțiune transversală, profil longitudinal, structură rutieră);
- numărul și densitatea trecerilor la nivel;
- gospodăria subterană, terană și aeriană;
- geometria căii de rulare (racordări, supraînălțare etc.);
- considerente privind protecția mediului;
- asigurarea circulației vehiculelor speciale (pompieri, salvare);
- considerente de estetică urbană.

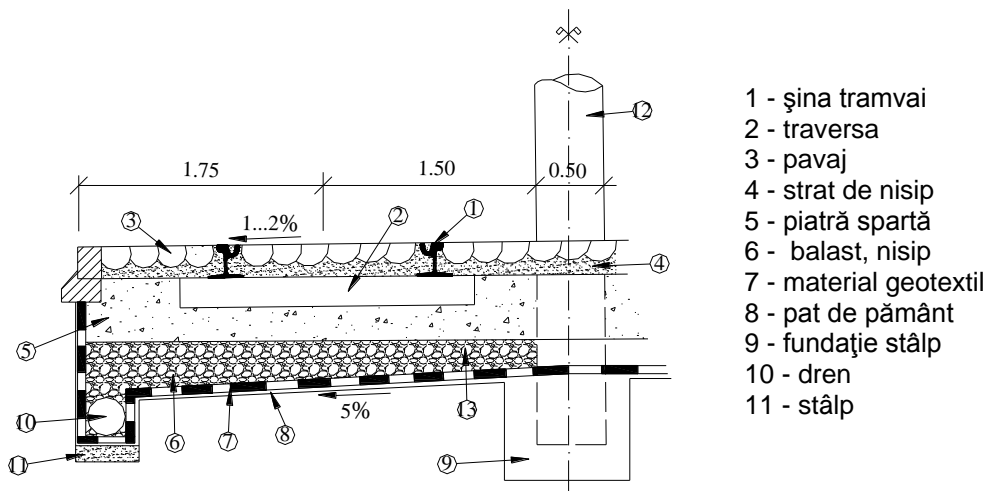
În decursul timpului au fost implementate o serie de sisteme de suprastructură pentru liniile de tramvai înglobate în carosabil și anume:

- sistem clasic cu rezemare elastică;
- sistem rigid;
- sistem semirigid (semielastic);
- suprastructură cu traverse monobloc sau bibloc;
- sistem cu șine înglobate în placa de beton armat;
- sisteme moderne cu prindere elastică a șinei.

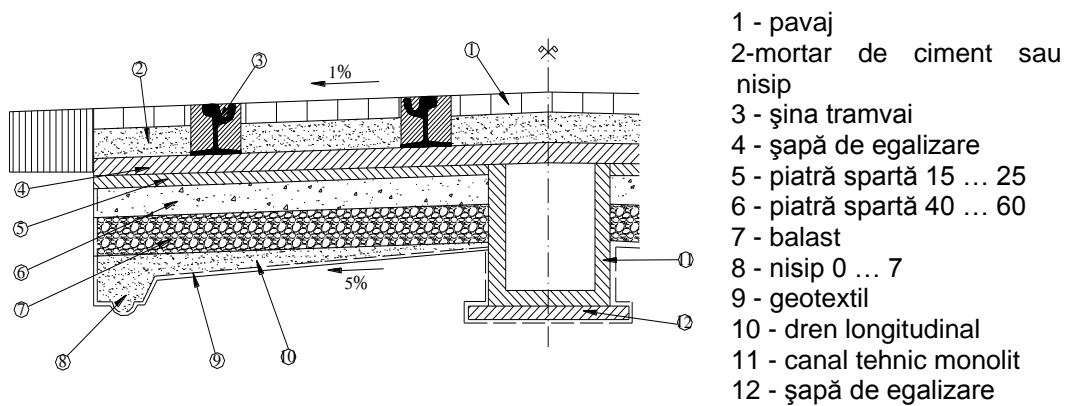
## Tipuri de suprastructuri de linii urbane și evoluția acestora



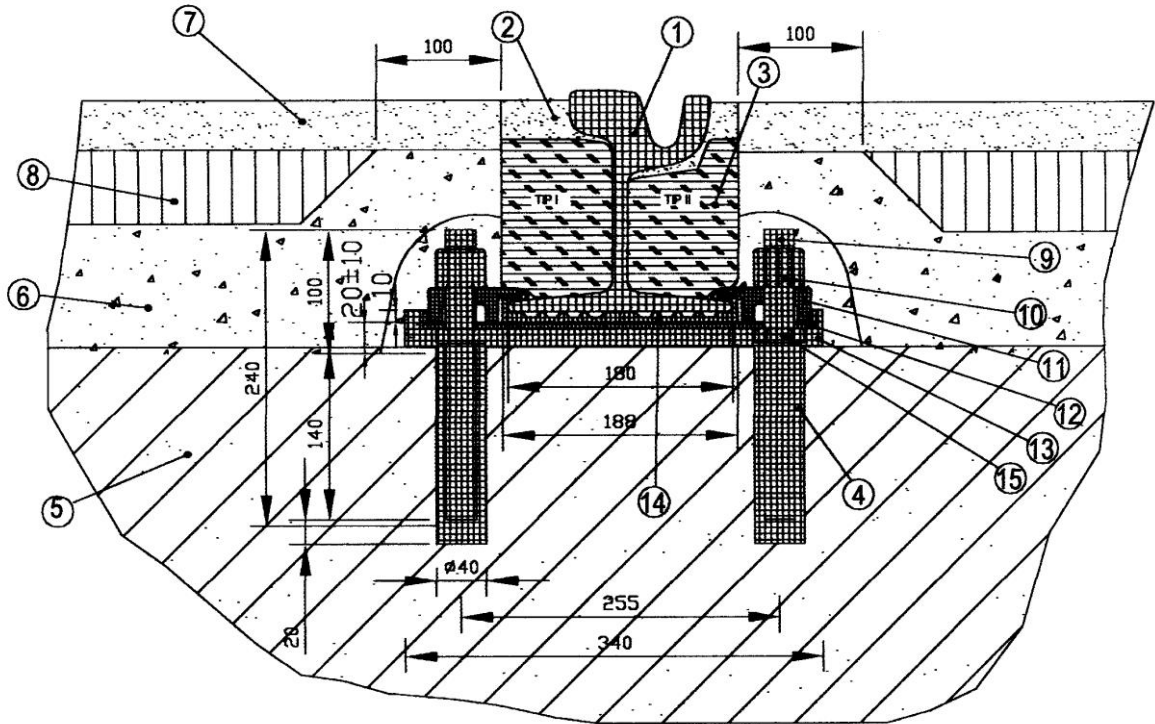
**Fig. 2.1.** Profil transversal pentru cale de rulare dublă, cu șină de tramvai, pe traverse, închisă cu plăci de beton armat prefabricate, cu dren central.



**Fig. 2.2.** Profil transversal pentru cale de rulare dublă, cu șină de tramvai, înglobată în partea carosabilă, stâlpi în ax, drenuri laterale



**Fig. 2.3.** Profil transversal tip pentru modernizarea liniilor de tramvai din Timișoara



- |                                                       |                                         |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 – șina Ri 60/R10                                    | 8 – clește                              |
| 2 – material pentru etanșare contra<br>infiltrațiilor | 9 – placă metalică 10 × 180 × 350<br>mm |
| 3 – beton asfaltic                                    | 10 – mortar ORTEC                       |
| 4 – beton asfaltic deschis                            | 11 – șurub M20-210                      |
| 5 – profil ISOLAST                                    | 12 – piulițe M20                        |
| 6 – beton simplu                                      | 13 – profil de izolare a tălpii șinei   |
| 7 – folie polietilenă                                 | 14 – dale beton armat                   |

**Fig. 2.4.** Detaliu prindere tip ORTEC

Suprastructura clasică cu rezemare elastică (fig.2.5) a fost preferată în perioada interbelică. Deformațiile mari în exploatare au dus la abandonarea soluției.

Un sistem rigid (Basel II) este ilustrat în figura 2.6, șinele sunt fixate pe traverse sau longrine din beton sau beton armat. Dezavantajele soluției sunt:

- apariția timpurie a uzurilor ondulatorii;
- structură prea rigidă la acțiuni dinamice.

Sistemul cu șine înglobate în plăci mari prefabricate din beton armat a fost (și mai este) aplicat atât la noi cât și în străinătate (fig. 2.9). Dala din beton trebuie dimensionată la solicitări date atât de materialul rulant cât și de autovehicule. Dalele sunt pretensionate (în lung) și așezate pe un strat de agregate naturale (pietriș cu nisip, criblură) sau din beton asfaltic. Lungimea unui panou este de obicei de 6,00 m. Dezavantajele soluției sunt:

- colmatarea rosturilor între dale respectiv între dale și structura rutieră nu poate fi realizată corespunzător, astfel apele pluviale pătrund sub dale și cauzează deplasări (tasări) inegale ale acestora;
- cauciucurile pentru fixarea șinelor îmbătrânesc repede permițând șerpuirea șinelor (la temperaturi ridicate) în plan vertical;

- uzura avansată a șinei duce la degradarea betonului din exteriorul jgheabului deoarece acesta intră în contact direct cu bandajul roții.

Suprastructurile de traverse monobloc sau bibloc (fig.2.8) înglobate în beton armat și așezate pe un pat de piatră spartă sau pe o placă de beton au reușit să elimine o mare parte din dezavantajele menționate.

Sistemele noi, moderne, pe pat elastic, vibrocalmante și fonoabsorbante au fost implementate în ultimele decenii. Astfel, în peste 20 de localități din Europa a fost realizată suprastructura tip PHOENIX AG.

Sistemul ISOLast al firmei ORTEC (Germania) a fost utilizat în multe orașe din România ( Timișoara, Cluj, Oradea, Iași, București).

În figura 2.4 a fost prezentat sistemul ISOLast.

Suprastructurile având șinele fixate cu material elastic turnat în jgheabul dalelor din beton armat (fig. 2.11) au o serie de avantaje:

- deformații uniforme la solicitări dinamice atât în lungul căii cât și transversal;
- minimizarea mentenanței;
- stabilitate convingătoare a căii;
- înălțimea și greutatea mică a suprastructurii;
- izolare elastică bună a șinelor;

Trebuie amintite și câteva dezavantaje ale soluției:

- necesită execuție precisă cu forță de muncă bine calificată;
- materialul de fixare este scump.

Sistemul EASYLast (fig. 2.19) a fost aplicat cu succes pe poduri.

În afara de soluțiile tehnice de realizare a supra și infrastructurii liniilor de tramvai prezentate mai sus, în orașele cu linii de tramvai din Europa au fost adoptate o multitudine de alte soluții. În continuare sunt prezentate câteva soluții pentru realizarea suprastructurii căilor de rulare ale tramvaiului.

Soluțiile de realizare a suprastructurii liniilor de tramvai pot fi clasificate astfel:

- sistem clasic cu rezemare elastică;
- sistem cu rezemare rigidă;
- sistem cu rezemare semirigidă;
- cale de rulare pe traverse;
- cale de rulare pe chituci;
- sistemul de panouri prefabricate cu șine înglobate;
- sisteme moderne cu fixare elastică a șinei.

Sistemul clasic cu rezemare elastică este prezentat în figura 2.5.

Acest sistem a fost utilizat mai mult în perioada interbelică, dar a fost abandonată din cauza denivelărilor mari ale căii.

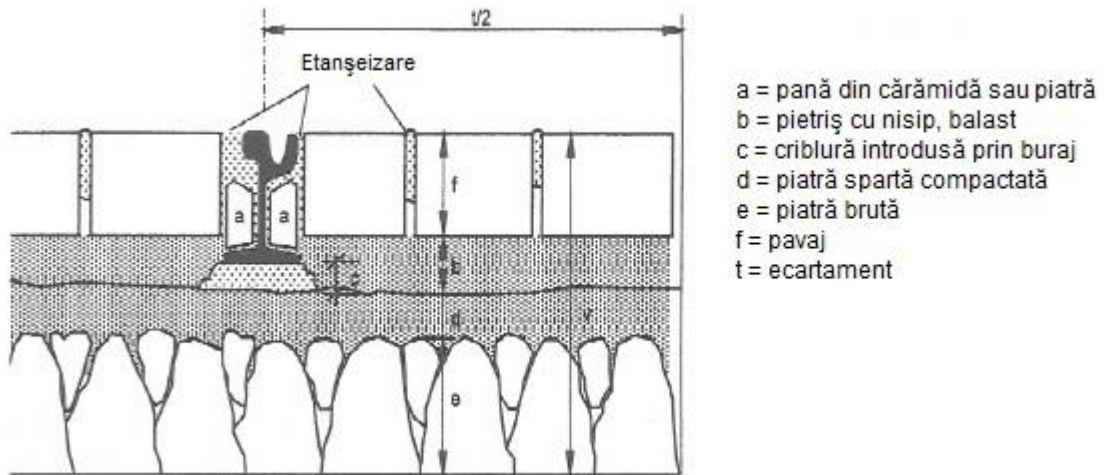
O suprastructură având rezemarea rigidă este prezentată în figura 2.6.

Avantajele sistemului sunt următoarele:

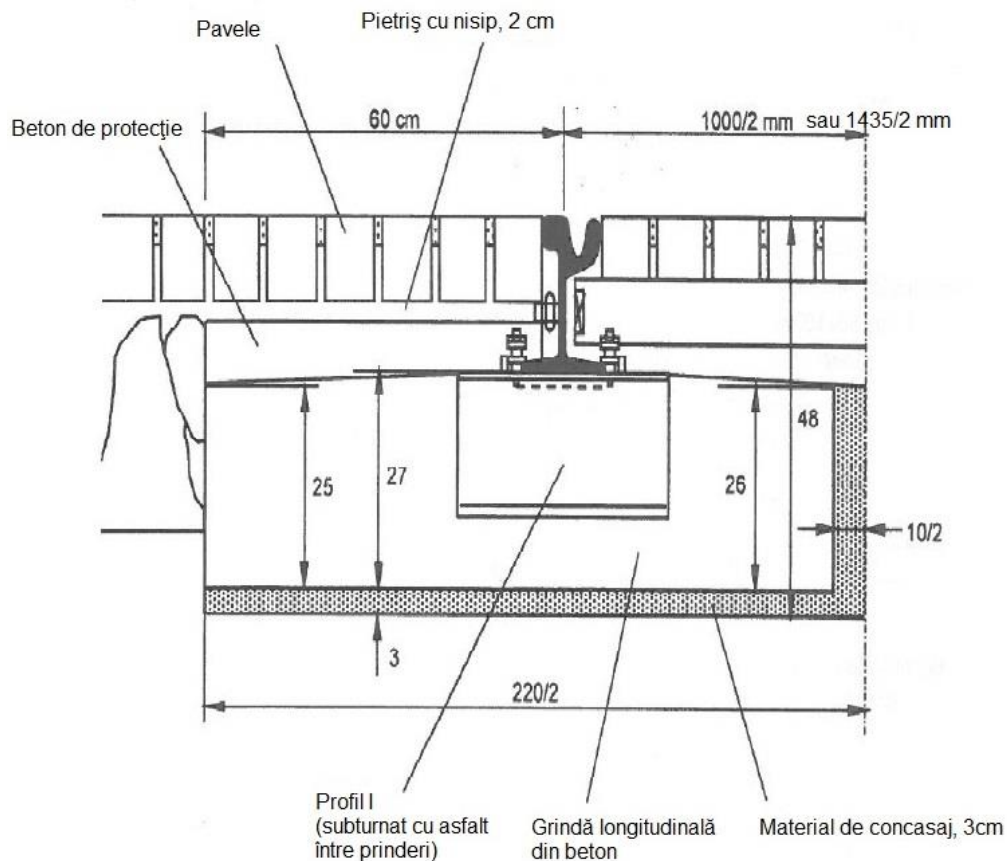
- deformațiile remanente ale căii sunt mici;
- evacuarea apelor se poate rezolva ușor.

Sistemul are și dezavantaje:

- uzura ondulatorie pronunțată;
- răspuns nefavorabil la solicitări dinamice.



**Fig. 2.5.** Sistem clasic cu rezemare elastică



**Fig. 2.6.** Suprastructură rigidă tip Basel II

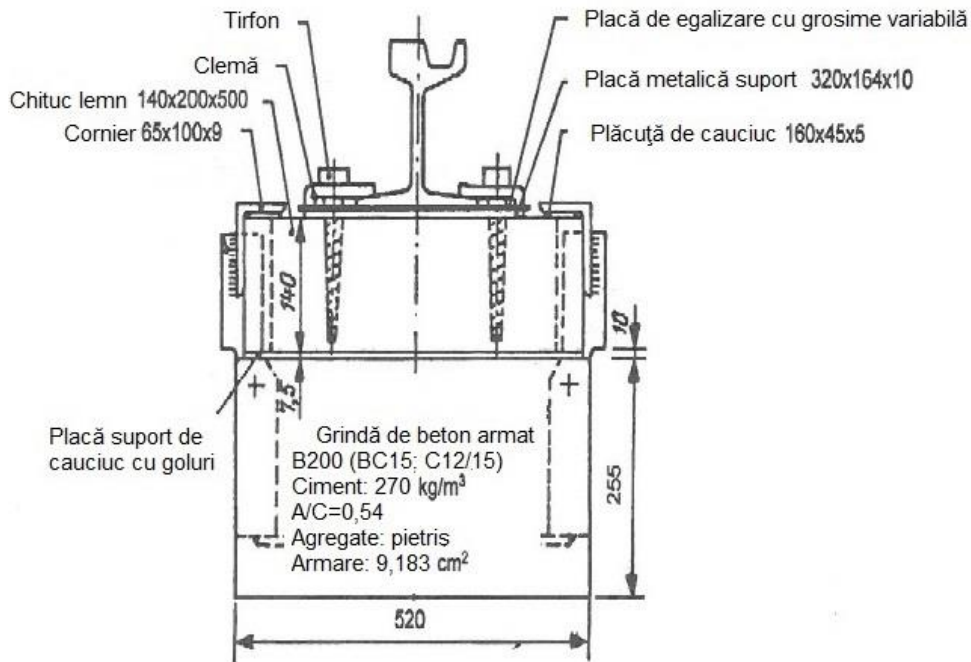
În figura 2.7 este prezentat o suprastructură de linie de tramvai cu rezemare semirigidă.

Suprastructura pe traverse (figura 2.8) este preluată de la calea ferată clasică. Traversele pot fi așezate pe un pat de piatră spartă, pe o placă de beton sau direct pe o infrastructură de calitate.

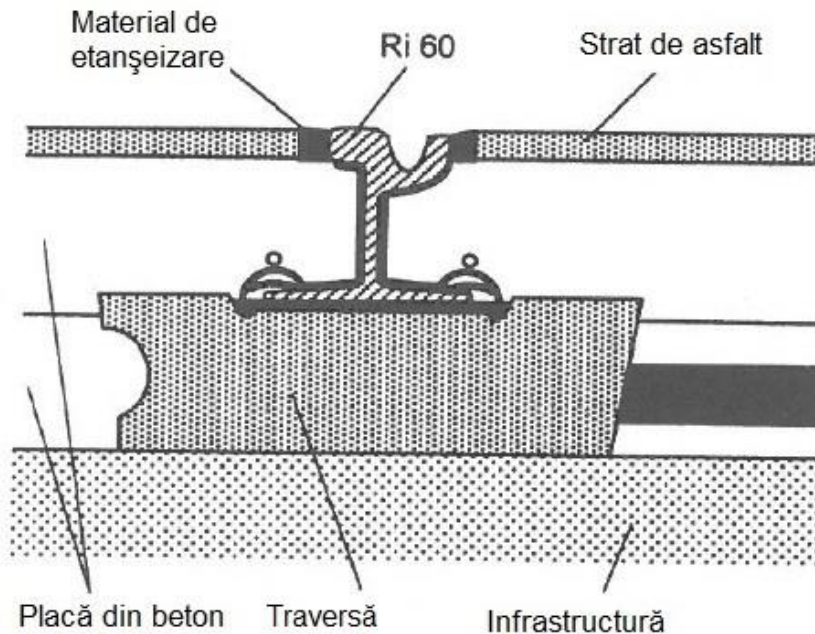
În anii '70...'80 o serie de linii de tramvai au fost realizate cu panouri prefabricate având șine înglobate (figura 2.9).



## Tipuri de suprastructuri de linii urbane și evoluția acestora



**Fig. 2.7.** Cale cu rezemare semirigidă

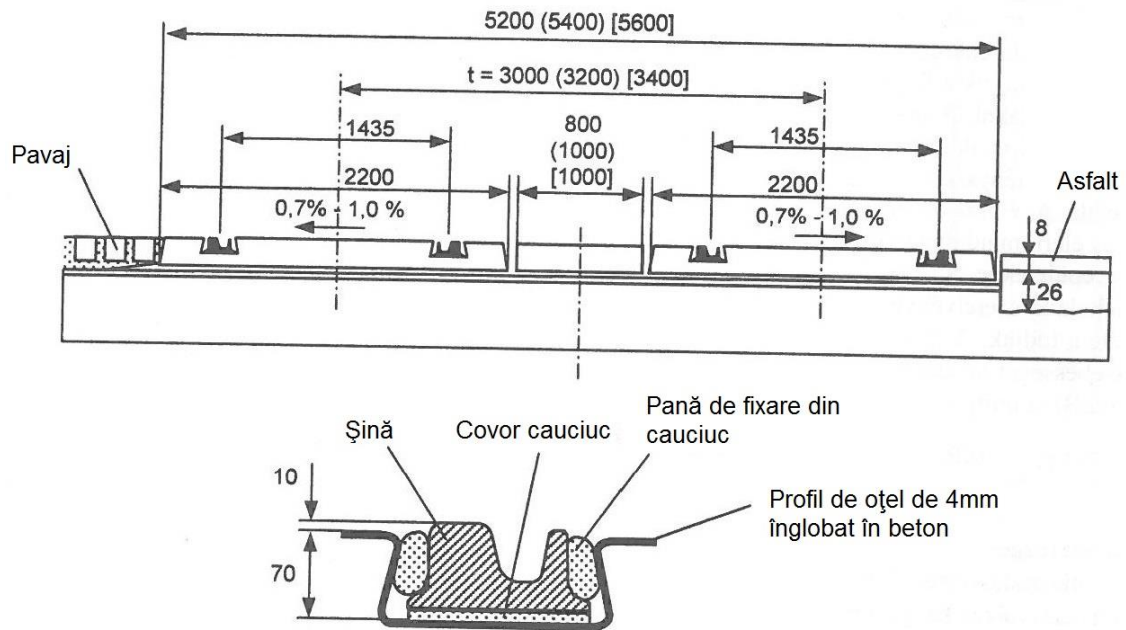


**Fig. 2.8.** Suprastructură pe traverse

Acest tip de suprastructură prezintă o serie de dezavantaje importante:

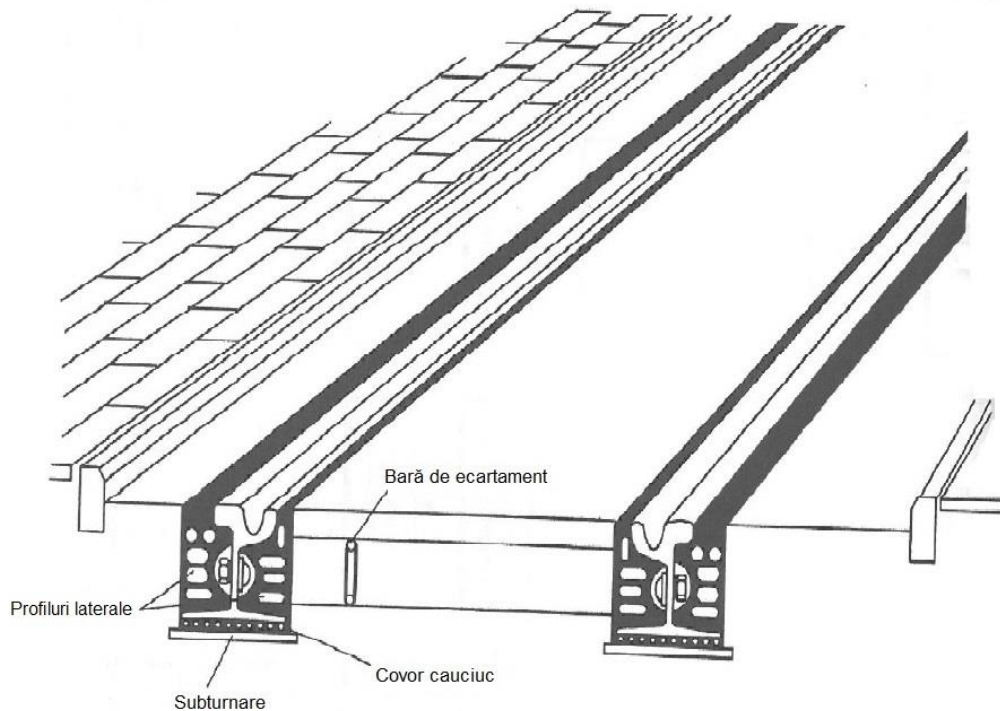
- etanșeizarea spațiilor între plăcile prefabricate respectiv între plăci și carosabil nu poate fi realizată în mod eficient;
- evacuarea apelor pluviale devine în consecință deficitară și se produce degradarea infrastructurii;
- penele de fixare a șinei îmbătrânesc repede și nu previn pierderea stabilității șinei în plan vertical la temperaturi ridicate;
- la uzuri relativ mici ale șinei roțile intră în contact cu placa de beton.

Din aceste motive sistemul practic a fost abandonat.

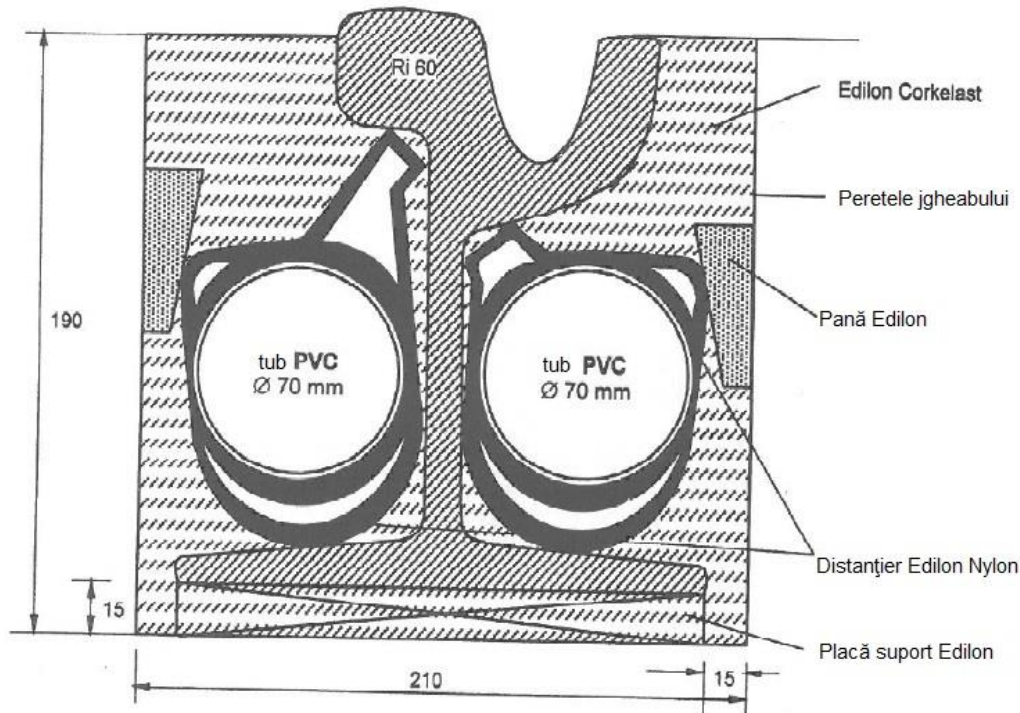


**Fig. 2.9.** Panouri din beton armat cu șine înglobate

Sistemele moderne cu fixare elastică a șinei sunt aplicate la toate lucrările de modernizare sau construcție a liniilor de tramvai. În afară de sistemul elastic tip ORTEC deja prezentat, în figura 2.10 este schițată o altă suprastructură elastică utilizată în zeci de capitale europene - sistemul PHOENIX AG, iar în figura 2.11, sistem cu șină fixată în jgheab.



**Fig. 2.10.** Suprastructura PHOENIX AG



**Fig. 2.11. Șine fixate în jgheab**

Soluțiile pe care le propun pentru realizarea liniilor de tramvai (structuri vibroabsorbante, șine fixate pe longrine, linii „verzi”) sunt prezentate în capitolul 5.

## 2.2. Suprastructura căilor ferate urbane

În capitolul 1 au fost deja prezentate câteva tipuri de secțiuni transversale tip pentru căile ferate industriale din care rezultă alcătuirea suprastructurii și infrastructurii acestora.

În continuare vor fi prezentate soluții moderne pentru realizarea căilor ferate urbane (atât căi de rulare ale tramvaielor, cât și căi ferate industriale sau în exploatarea administrațiilor feroviare), unele suprastructuri fiind utilizate cu succes la realizarea căilor ferate obișnuite sau pentru viteze mari.

În ultimele decenii se observă creșterea importanței costurilor lucrărilor de cale ferată și a protecției mediului în dauna ponderii reprezentate de siguranța circulației și de condițiile tehnice impuse pentru realizarea și exploatarea căii. În ce privește costurile trebuie analizate și apreciate împreună costurile de investiție și cele de mentenanță. Rolul și importanța din ce în ce mai mare a protecției mediului a condus la găsirea unor soluții tehnice cu efecte minime asupra mediului înconjurător. Statisticile unor administrații feroviare arată că pentru a menține elementele geometrice ale căii clasice (cu prisma căii) în limitele admise, lucrările de întreținere aferente au reprezentat între 22...75 % din totalul cheltuielilor de mentenanță. Așa s-au născut suprastructurile rigide (fără prisma căii, pe o placă rigidă) care au o serie de avantaje:

- se păstrează geometria căii (în plan, profil longitudinal și transversal) fără a fi necesare lucrări de întreținere și reparații specifice;
- stabilitatea căii (chiar fără joante) în curbe este foarte mare;

- interacțiunea vehicul - cale duce la apariția unor eforturi unitare relativ mici în elementele suprastructurii căii;
- confortul este sporit;
- scade lățimea platformei căii deci spațiul necesar pentru realizarea liniei;
- scade grosimea totală a suprastructurii;
- se apreciază că durata de viață a căii crește;
- pot fi realizate supraînălțări mai mari (până la 200 mm) deci poate fi sporită viteza maximă în curbe;
- dispar toate dezavantajele reprezentate de prisma căii.

Trebuie amintite și dezavantajele structurilor fără prisma căii:

- este necesară precizie maximă la execuție, deci toleranțe foarte mici la recepția căii;
- sporește costul și durata investiției;
- modificările ulterioare ale geometriei căii sunt foarte dificile;
- trecerea de la calea clasică la cea pe plăci din beton se face cu panouri de tranziție speciale;
- trebuie rezolvate problemele legate de diminuarea vibrațiilor și a poluării fonice.

Statisticile germane arată că pentru realizarea unui kilometru de cale ferată pe plăci rigide costurile cresc cu 38 % față de o cale cu prisma căii, dar cheltuielile de mentenanță scad de 14 ori!!!

În continuare sunt prezentate câteva soluții tehnice de la diferite administrații feroviare pentru realizarea de linii ferate pe plăci rigide din beton armat.

### 2.2.1. Suprastructuri rigide japoneze

Realizarea de suprastructuri rigide în Japonia a fost experimentată începând cu anul 1955, în mod special în tuneluri (tunelul Hokoriku, 13670 m, 1960).

Deși prima linie de mare viteză din lume, între Tokio și Osaka, a fost realizată în soluția clasică (linie cu prisma căii), durata mică disponibilă pentru întreținere (4...5 ore pe noapte) pe lângă intensitatea mare a traficului (55...65 perechi de trenuri pe zi,

$V_{max}=210$  km/h, cca. 100000 t/zi) a dus la adoptarea unor soluții noi de linii pe plăci rigide din beton.

Una din soluțiile aplicate este prezentată în figura 2.12.

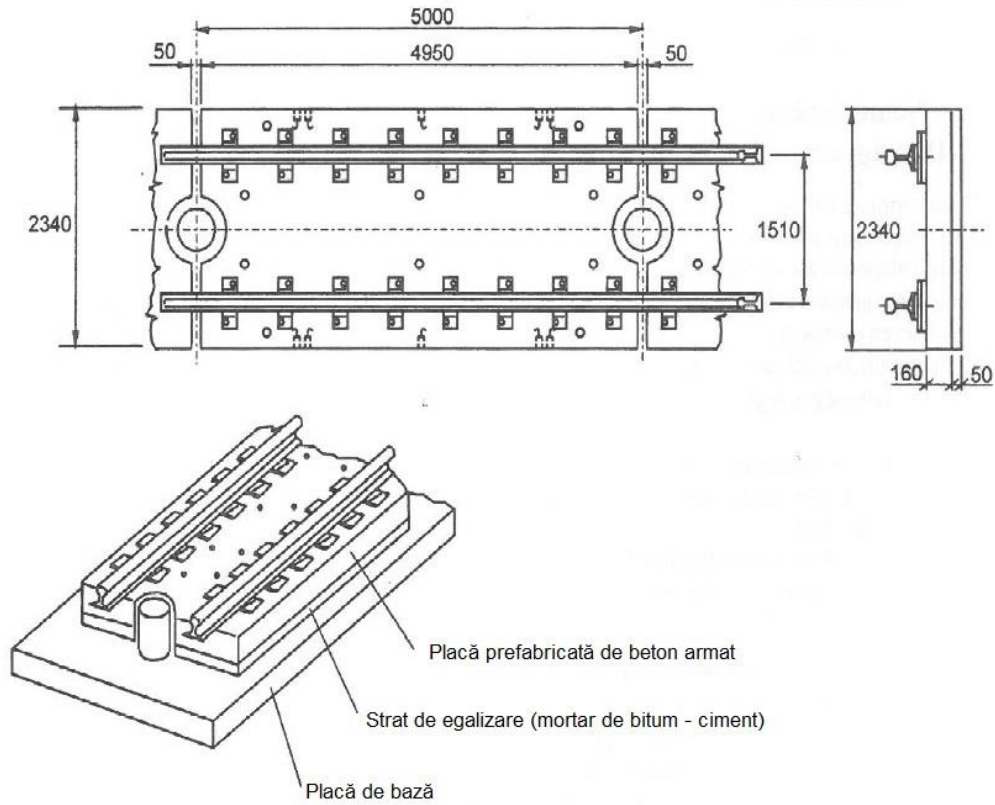
Placa de beton armat prefabricată are dimensiunile de 5,00x2,34x0,16 m și este fixată pe o placă de beton de bază așezată pe infrastructură. Între cele două plăci se injectează un mortar de bitum - ciment având 40 mm grosime pentru a realiza geometria corectă și durabilă a căii. Poziția exactă a plăcilor de beton armat este asigurată de cepi de beton încadrați în placa de bază și care au diametre de 40 cm și înălțimea de 25 cm.

O altă soluție aplicată în Japonia este prezentată în figura 2.13.

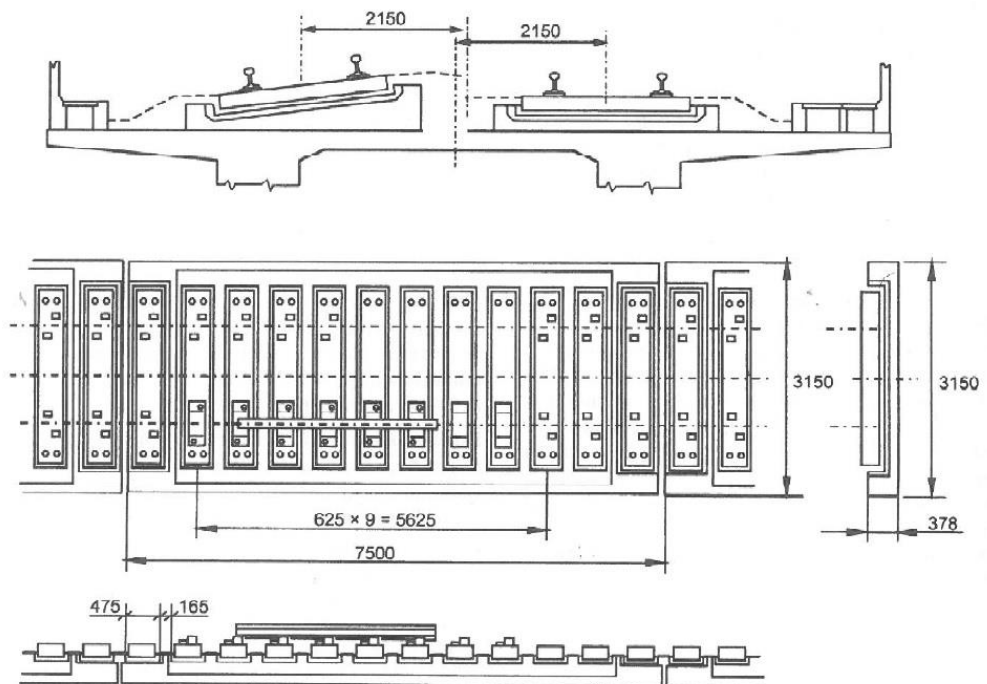
Structura a fost realizată la liniile japoneze de mare viteză în zonele periurbane. Diminuarea vibrațiilor și a zgomotului se obține prin utilizarea unor plăci elastice de poliuretan fixate pe traverse și la capetele traverselor.



Tipuri de suprastructuri de linii urbane și evoluția acestora



**Fig. 2.12.** Suprastructură rigidă japoneză



**Fig. 2.13.** Structură rigidă pentru zone periurbane în Japonia

## 2.2.2. Suprastructuri rigide germane

Preocupările specialiștilor germani în conceperea și realizarea unor linii de cale ferată fără prisma căii au început în anii '70. Principiile de bază impuse au fost următoarele:

- presiunile transmise de plăcile de beton să fie uniforme pe toată suprafața plăcii;
- șinele să aibă rezemare elastică;
- să existe posibilitatea corectării niveleței căii cu până la 50 mm;
- soluțiile tehnice aplicate să fie aceleași atât în cazul liniilor pe terasament cât și în cazul celor pe poduri sau tuneluri.

Pornind de la aceste principii a fost realizat și implementat sistemul RHEDA (figura 2.14).

Șinele au fost fixate pe traverse din beton precomprimat tip B70 având poza de 60 cm. Traversele au fost așezate pe o placă din beton armat de 14 cm grosime cu care conlucrează datorită betonului armat turnat între traverse și sub traverse. Sub placa de beton se află o placă termoizolantă de 20 cm grosime din beton ușor Styropor și un strat de 15 cm de material stabilizat cu ciment.

Alte structuri rigide de tip RHEDA sunt prezentate schematic în figura 2.15.

Alte soluții pentru realizarea suprastructurilor de linii ferate rigide sunt prezentate schematic în figura 2.16.

În figura 2.17 este prezentată suprastructura tip Oelde a cărei noutate este că nu are traverse. Șinele sunt fixate direct pe placa de beton armat.

Administrația feroviară germană (DB) a elaborat la începutul anilor '90 instrucțiunile de realizare a căilor ferate fără prisma căii pornind de la condiția impusă de durată minimă de viață de 60 de ani pentru fiecare structură rigidă.

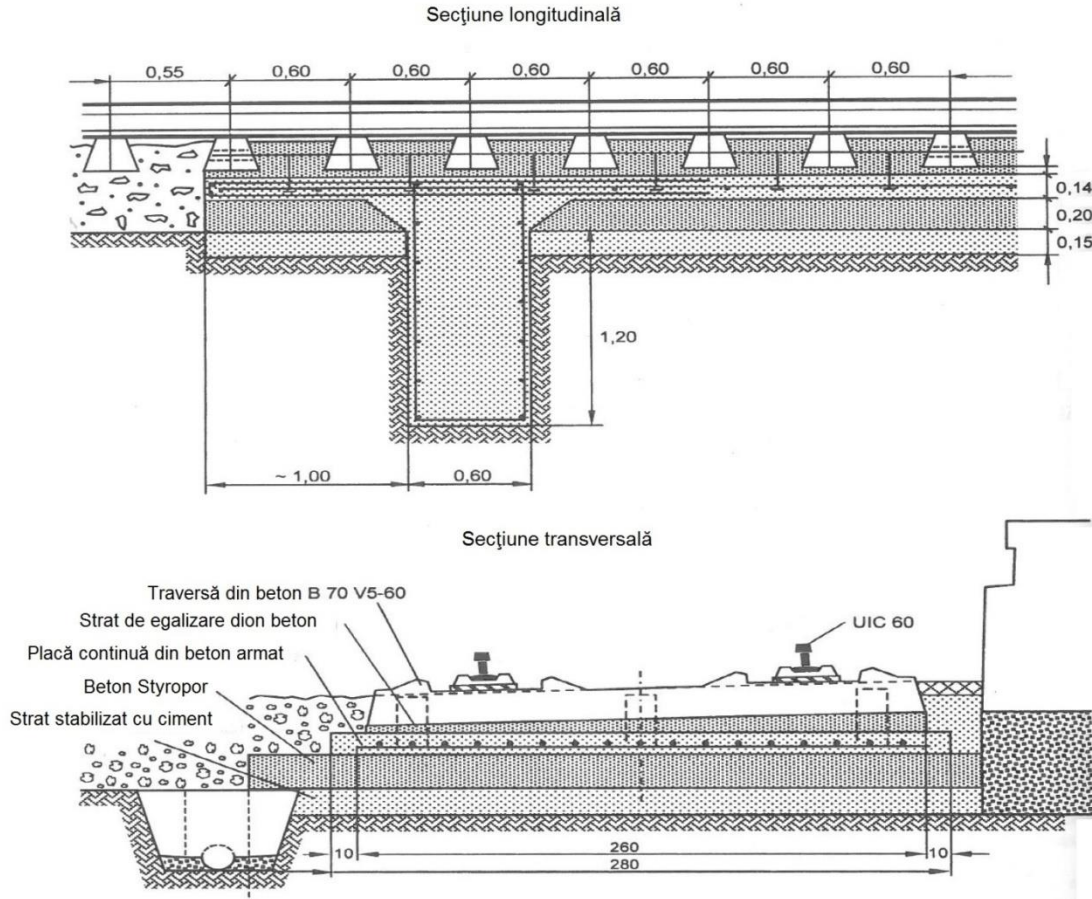
Astfel, pentru terasamente au fost impuse următoarele condiții:

- prin studiile geotehnice trebuie determinată cu maximă precizie tasarea probabilă a terenului de bază și a umpluturii;
- probele se vor recolta din 50 în 50 m, la o adâncime de cel puțin 6 m sub NSS;
- terasamentul trebuie astfel realizat încât eventualele tasări să fie compensate cu sistemul de fixare a șinelor pe traverse; în caz contrar nu sunt permise structurile rigide;
- adâncimea minimă a apelor freactice trebuie să fie la 1,50 m față de NSS;
- valorile minime acceptate pentru EV2 în cazul liniilor noi sunt de 60 MPa pe terasament și 120 MPa pe stratul de protecție la îngheț iar în cazul liniilor reconstruite aceste valori devin 45 MPa respectiv 100 MPa.

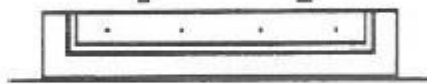
Condițiile minimale impuse suprastructurii sunt următoarele:

- șina utilizată este de tip UIC 60 iar prinderea elastică (SKL, Ioarv, Wfp);
- denivelarea șinelor în dreptul prinderii sub sarcina dinamică de 200 kN este de cca. 1,5 mm;
- rezistența la deplasări longitudinale este de min. 5 kN pentru fiecare prindere;
- prinderile trebuie să asigure corecții minime ale niveleței de -4...+26 mm și ale direcției de -5...+5 mm;
- înclinarea șinelor pe traverse 1:40 (1:30...1:50);
- poza traverselor:  $\leq 0,65$  m; rezistența la deplasări în lung  $\geq 14$  kN/traversă; rezistența la deplasări laterale  $\geq 5$  kN/m;
- supraînălțarea maximă: 180 mm.

## Tipuri de suprastructuri de linii urbane și evoluția acestora



Rheda 1972 (TU München)  
 - traversă din beton  
 - beton de umplură, de egalizare  
 - placă din beton armat  
 - infrastructură



Rheda Sengeberg 1989 (Dywidag-Heilit)  
 - traversă din beton precomprimat cu armare în lungul căii  
 - beton de umplură  
 - placă de beton simplu  
 - radierul tunelului



Rheda/Breddin-Glöwen 1994 (Dywidag-Heilit)  
 - traversă din beton precomprimat cu armare în lungul căii  
 - beton de umplură  
 - placă din beton armat

Infrastructură

Fig. 2.15. Scheme de suprastructuri RHEDA

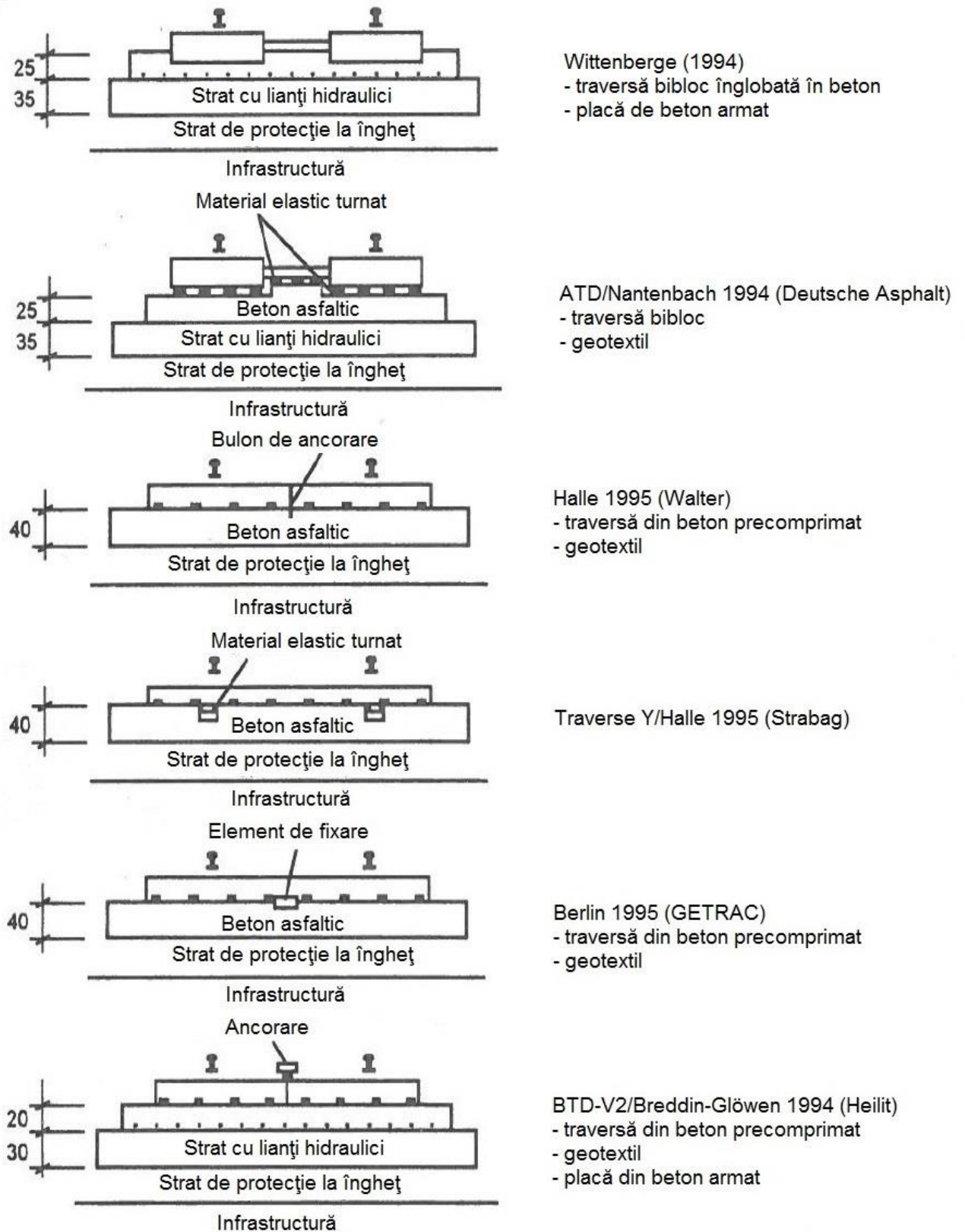
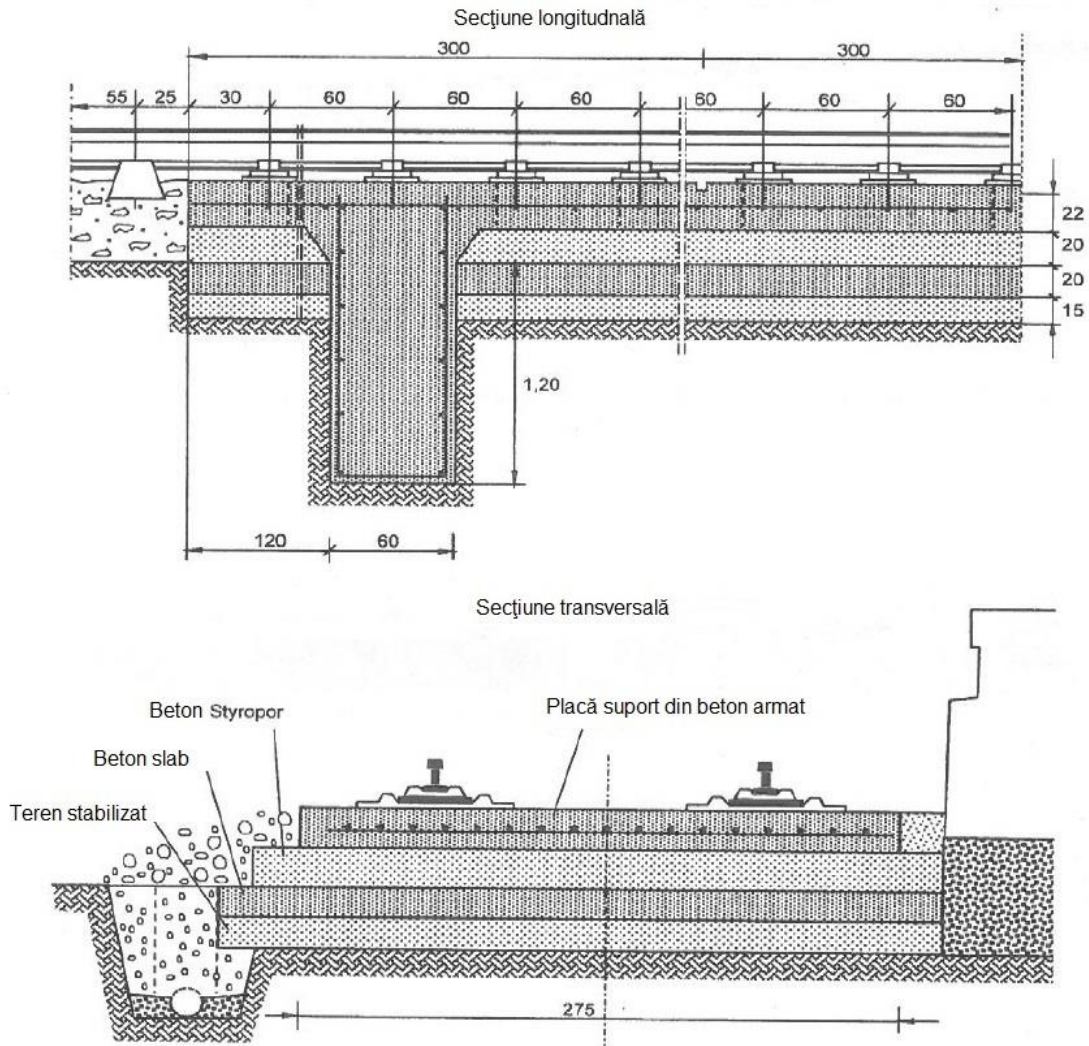


Fig. 2.16. Alte suprastructuri rigide germane



## Tipuri de suprastructuri de linii urbane și evoluția acestora



**Fig. 2.17.** Suprastructura tip OELDE

Condiții impuse pentru placa suport din beton armat:

- beton armat, clasa C30, armătură 0,8...0,9 % la mijlocul înălțimii plăcii, pe toată suprafața plăcii;
- fisurile limitate la  $\leq 0,5$  mm la suprafața plăcii;
- abaterile maxime la nivel:  $-2...+2$  mm.

Condiții impuse pentru stratul portant de asfalt:

- executat la cald, într-unul sau mai multe straturi, din amestec de agregate minerale și bitum sau bitum modificat;
- liant: bitum B80 sau B65;
- stabilitate Marshall: 97 %;
- grosimea stratului se stabilește prin dimensionare;
- abateri admise la nivel:  $\leq \pm 2$  mm, dacă linia este așezată direct pe stratul de asfalt.

Dimensionarea straturilor portante (de beton sau asfalt) se va face cu metodele cunoscute de la dimensionarea structurilor rutiere. Vor fi luate în considerare efectele variațiilor de temperatură, variația rezistenței la compresiune a infrastructurii, rezistența la oboseală. La calculul prinderii (șinelor pe traverse sau pe

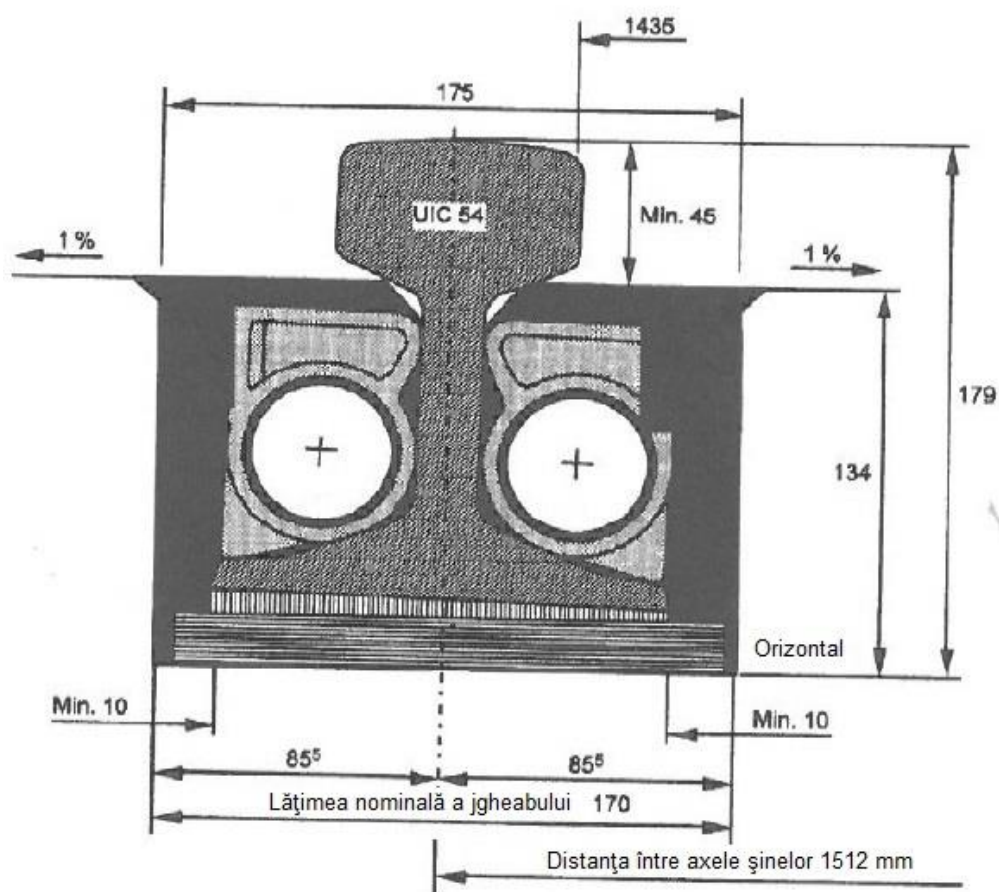
placă) se va ține seama de efectul unei pozitve din fața primei osii respectiv între osiile în mișcare.

Experiența acumulată la DB a condus la următoarele concluzii:

- cea mai bună suprastructură rigidă este cea de tip RHEDA;
- cheltuielile de întreținere sunt mult mai reduse față de cele de la liniile clasice cu prisma căii;
- pe lângă activitatea de supraveghere și verificare permanentă a căii întreținerea se rezumă la polizarea șinelor, înlocuirea șinelor și întreținerea trecerilor la nivel.

### 2.2.3. Șine fixate în jgheab

Soluția a fost realizată pentru prima dată în Olanda în 1972, este utilizată în mod obișnuit la calea ferată pe poduri și experimentată la liniile pentru viteze mari. În figura 2.18 este prezentată schema fixării unei șine în jgheab cu material de fixare turnat.



**Fig. 2.18. Șine fixate în jgheab (Olanda)**

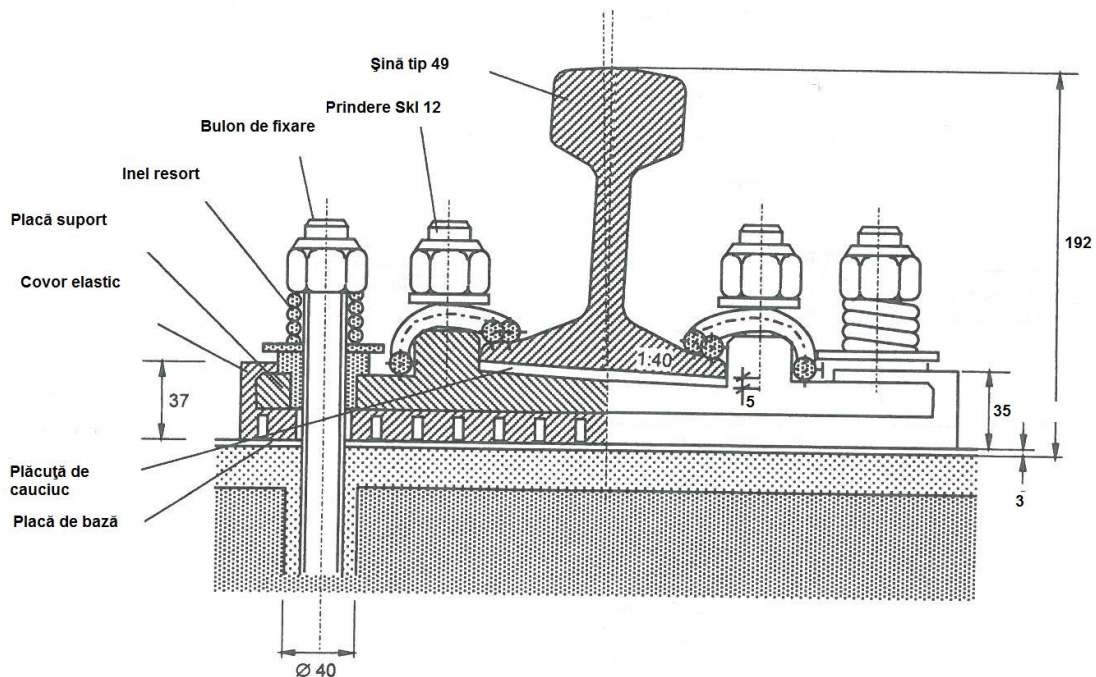
Avantajele soluției sunt:

- structură simplă dar cu durată de viață sporită;
- nu apar deformații ale elementelor geometrice;
- nu apar probleme privind stabilitatea căii;
- rezemarea șinei este elastică și continuă;

- la câteva ore după fixarea șinelor calea poate fi dată în exploatare;
- scade uzura șinelor;
- vibrațiile și zgomotul sunt mult diminuate;
- înălțimea totală a structurii este redusă;
- izolarea electrică este foarte bună.

Materialul de fixare (care practic îmbracă șina) poate fi de fabricație EDILON - CORKELAST, ICOSIT KC 330 etc.

Dipă cum s-a mai amintit, sistemul EASYLast se aplică pe poduri, în tuneluri, dar și în cazul liniilor neînglobate în carosabil (fig. 2.19). Sistemul are proprietăți vibroabsorbante și fonoabsorbante remarcabile.



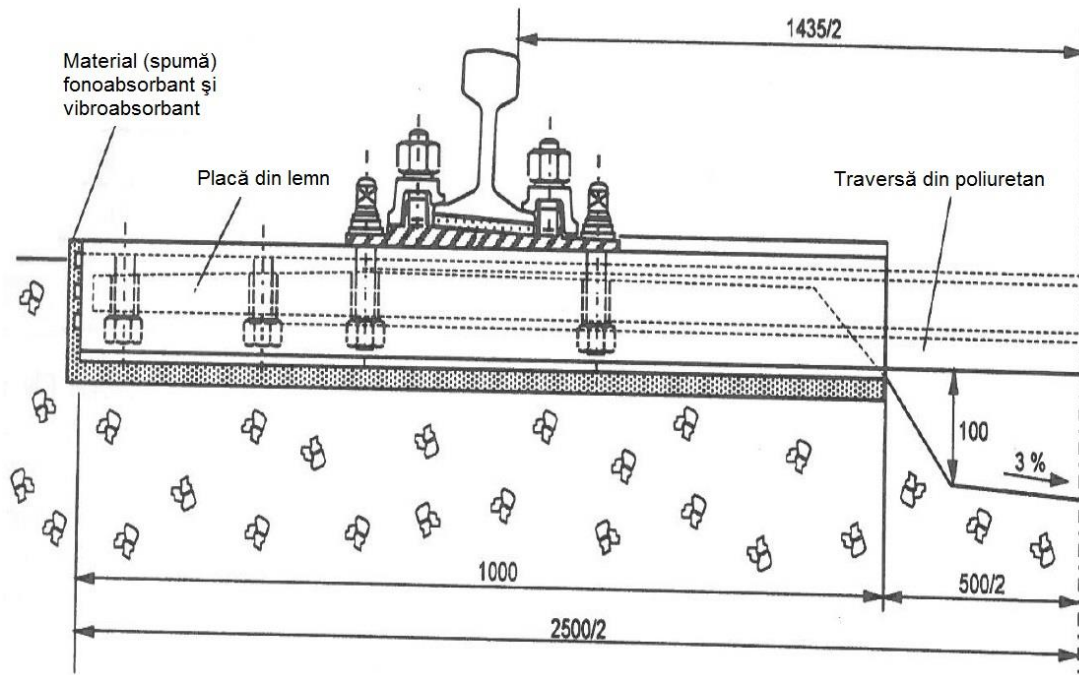
**Fig. 2.19.** Sistemul EASYLast

### 2.3. Particularități ale suprastructurii liniilor de metrou

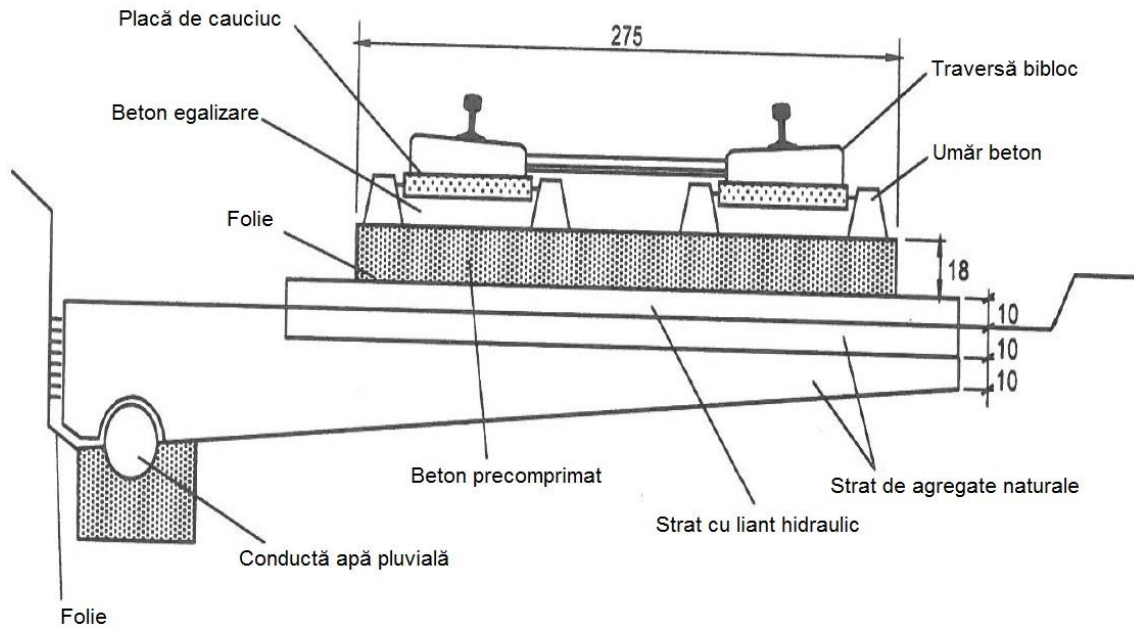
Primele linii metropolitane au fost realizate în soluția clasică: linie de cale ferată cu prisma căii din piatră spartă. Structura prezintă o serie de dezavantaje:

- grosime mare a suprastructurii;
- evacuarea apelor este mai dificilă;
- corectarea deformațiilor căii trebuie făcută mai des;
- mecanizarea lucrărilor de întreținere este dificilă;
- diminuarea vibrațiilor este greu de rezolvat, eventual prin sporirea grosimii stratului de piatră spartă sau prin așezarea sub stratul de piatră spartă a unor materiale elastice (covor de cauciuc, covor de spumă poliuretanică).

Liniile metropolitane în ultima perioadă sunt realizate fără prisma căii, fiind așezate direct pe radierul tunelului. În figurile 2.20, 2.21, 2.22, 2.23 sunt prezentate câteva soluții pentru realizarea liniei metropolitane la Viena, Paris, Stockholm și Rotterdam.

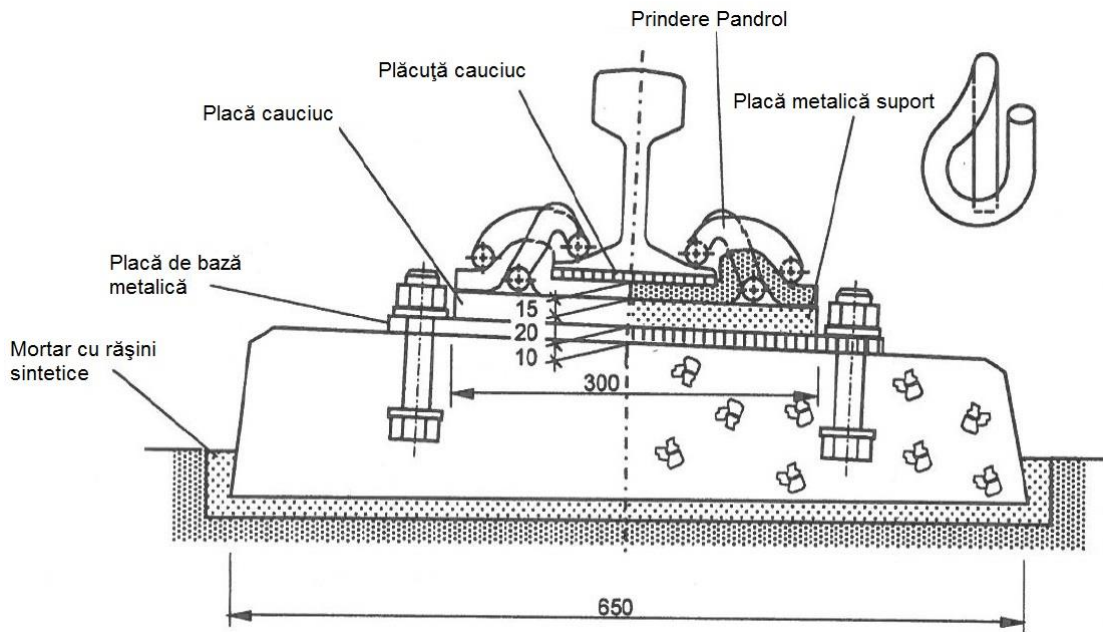


**Fig. 2.20.** Linie metropolitană la Viena

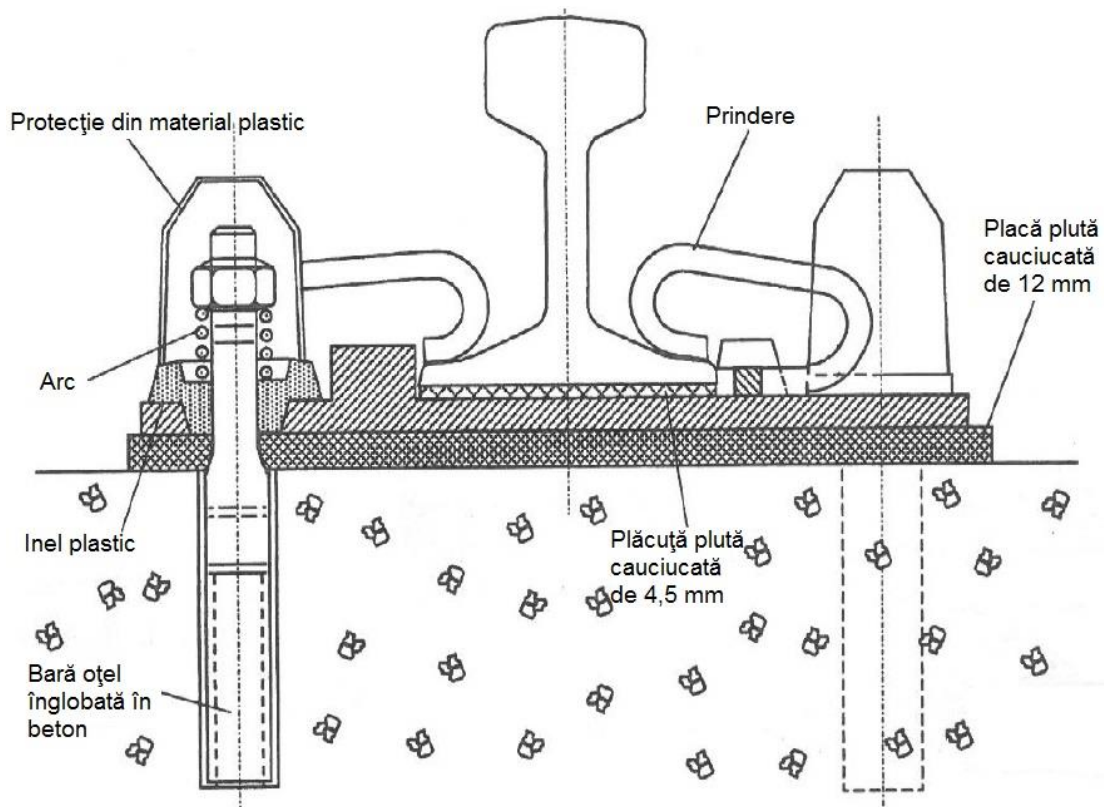


**Fig. 2.21.** Linie metropolitană la Paris





**Fig. 2.22.** Linie metropolitană la Stockholm



**Fig. 2.23.** Linie metropolitană la Rotterdam

Cele mai moderne linii metropolitane sunt realizate în sistem masă suspendată. Acest sistem are ca principiu de bază așezarea suprastructurii (masa) pe reazeme elastice realizate din elastomeri.

În figura 2.24 este prezentată o secțiune printr-o linie metropolitană realizată la München, în sistem masă suspendată.

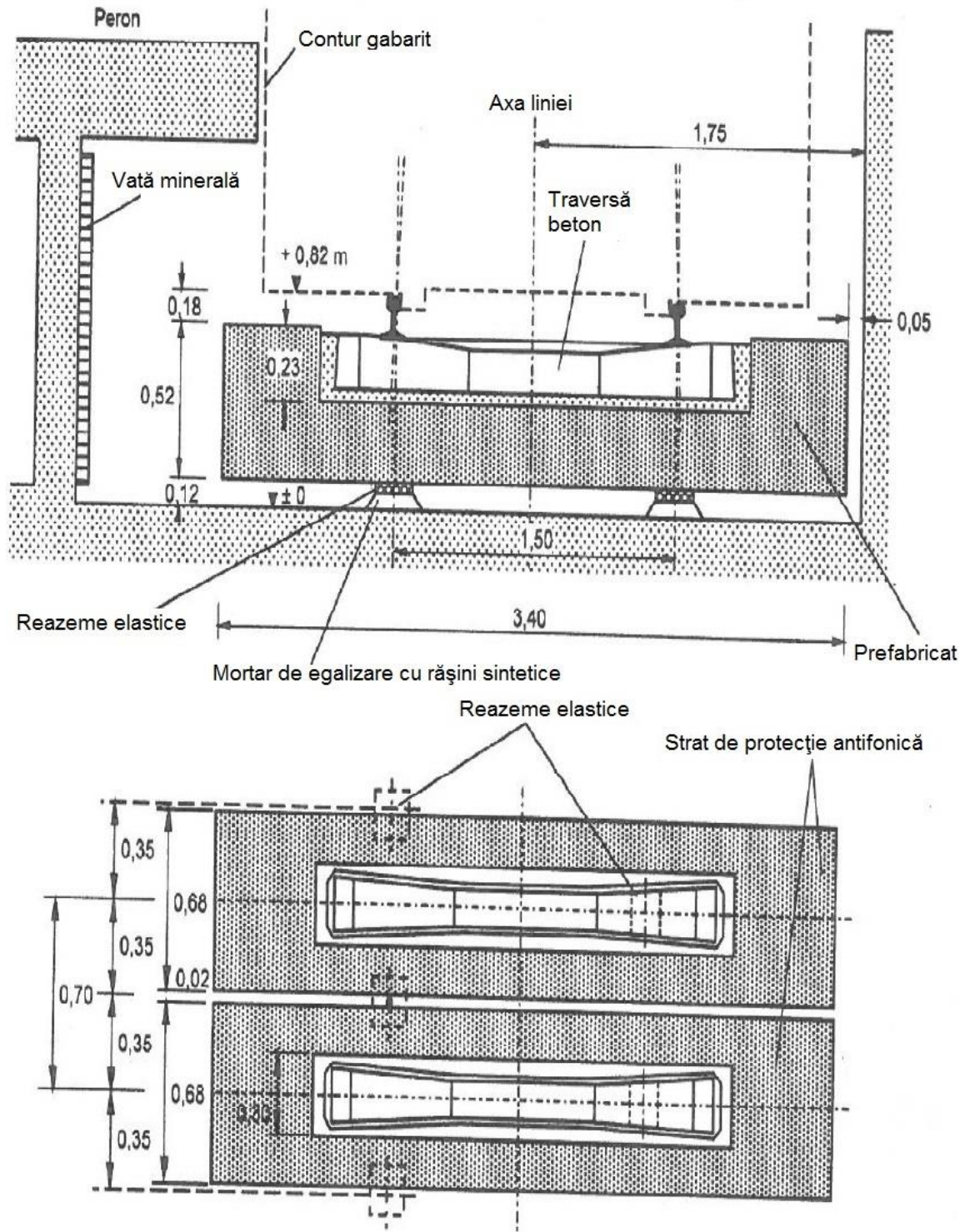


Fig. 2.24. Linie metropolitană la München

## 2.4. Soluții pentru realizarea căilor de rulare pentru macarale

Cele mai multe căi de rulare pentru macarale sunt realizate în soluția clasică: șina CF (de obicei tip 40 sau 49) fără înclinare este fixată cu prindere obișnuită, eventual elastică, pe traverse din lemn sau pe chituci din lemn sau beton (mai rar pe longrine), iar traversele sunt așezate pe un strat de piatră spartă de 20...30 cm

grosime. Sarcina pe roată este limitată prin numărul roților pe fiecare fir în funcție de sarcina maximă pe care o poate ridica macaraua.

Un caz special îl reprezintă căile de rulare ale utilajelor de scos și încărcat cărbune din marile centrale termice. În figura următoare (fig.2.25 a, b, c) este prezentată o secțiune transversală printr-o longrină a căii de rulare a unui asemenea utilaj de la CET Rovinari cu observația că am făcut parte din echipa care a proiectat reabilitarea acestor căi de rulare.

Și la căile de rulare pentru macarale se recomandă ca înălțimea suprastructurii să fie cât mai redusă, iar prinderea șinei pe traverse (chituci) să fie cât mai eficientă.

O asemenea cale de rulare realizată cu sistem Gantrex este prezentată în figura 2.26.

### **2.5. Concluzii și recomandări**

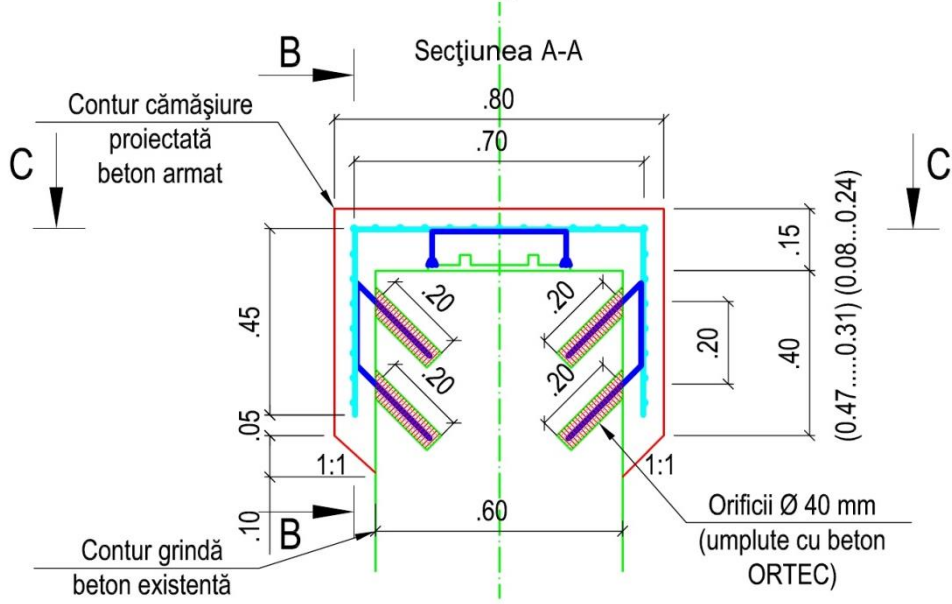
Din cele prezentate rezultă marea diversitate a suprastructurilor utilizate (utilizabile) la liniile ferate urbane.

Căile ferate având suprastructura elastică sunt proiectate, executate și exploatate după reglementări consacrate, în mare parte verificate și care nu necesită modificări majore.

Suprastructurile liniilor urbane, în mod special cele rigide și ale liniilor de tramvai, nu sunt strict reglementate. Din acest motiv inginerii au posibilitatea de a proiecta și implementa soluții noi, chiar inovatoare, de a realiza sectoare experimentale.

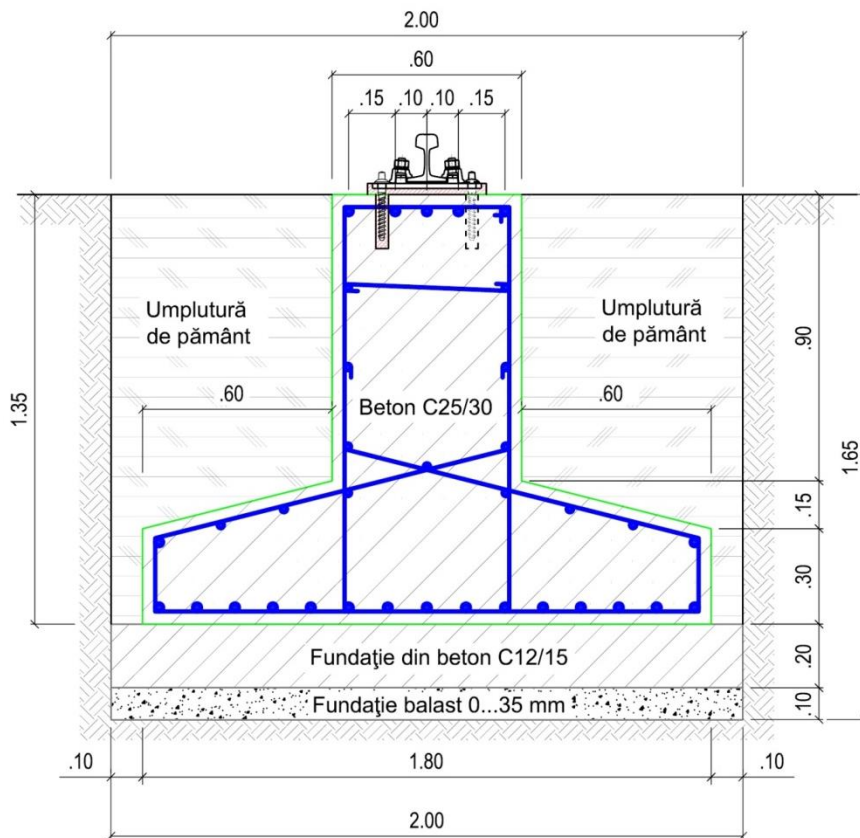
Pentru lucrările viitoare de modernizări de linii urbane existente sau construcție de linii noi este necesar a se elabora o temă de proiectare clară și completă, iar condițiile tehnice impuse să fie cele determinate fără a neglija costul lucrărilor de construcție și de mentenanță. Pentru aceasta trebuie implicați în exclusivitate specialiști.

Detalii cămășuire longrină



2.25.a.

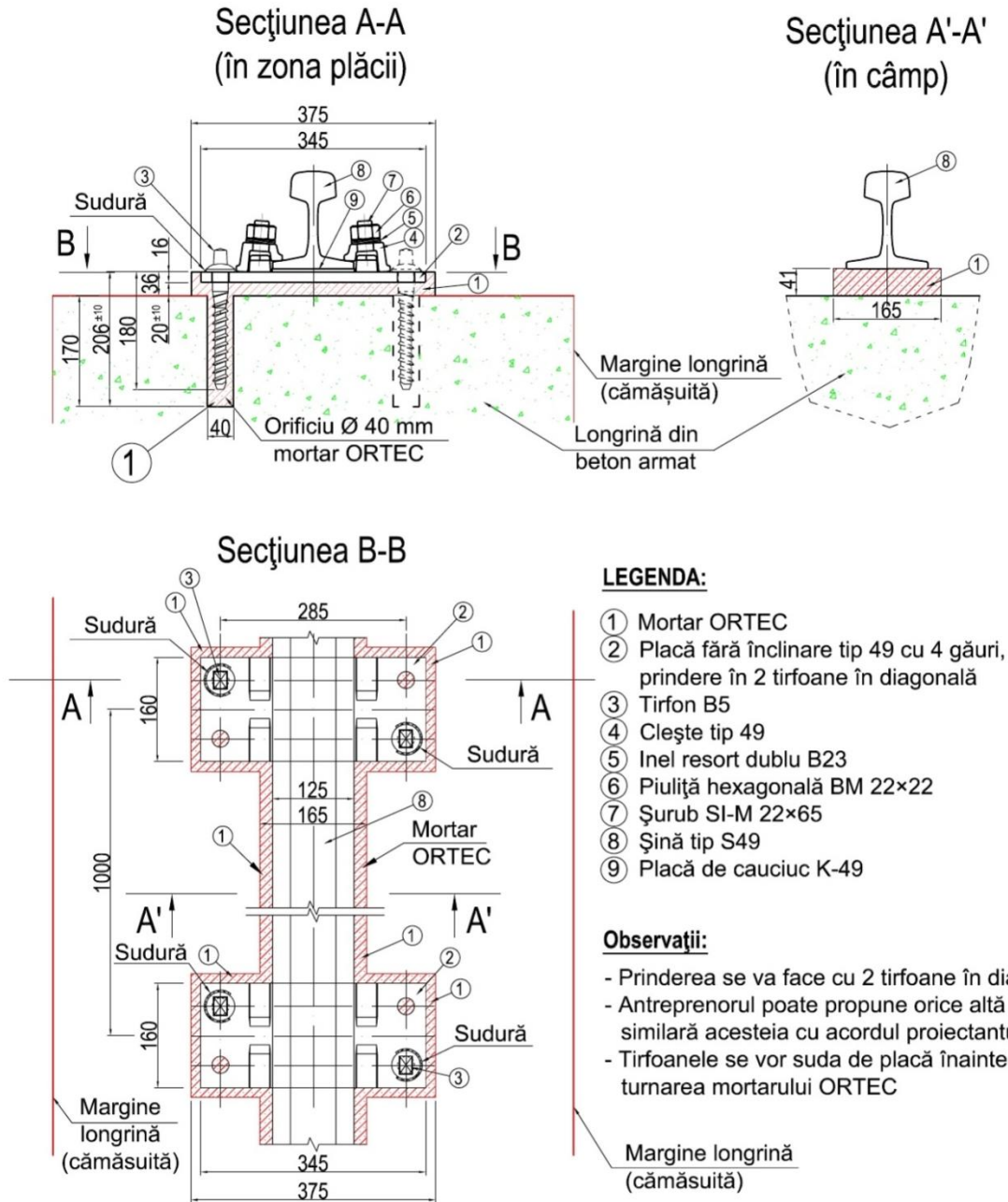
Detalii armare longrină M2



2.25.b.

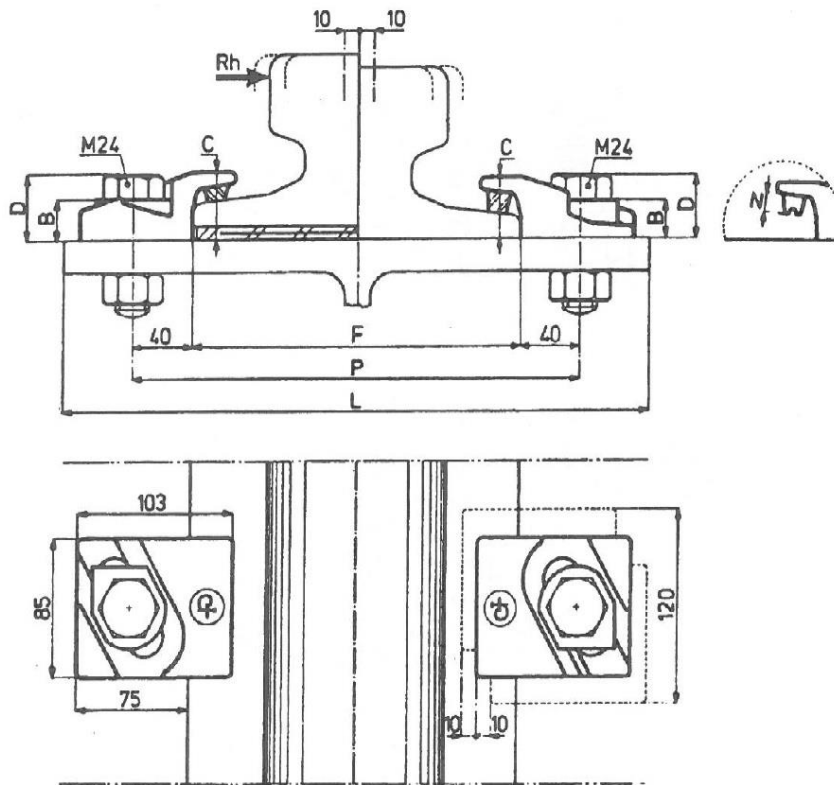
Detalii armare longrină M2





2.25.c.

**Fig.2.25.** Secțiune cale de rulare Rovinari



**Fig. 2.26.** Cale de rulare tip GANTREX

## **Capitolul 3. METODE DE CALCUL AL SUPRASTRUCTURILOR DE CALE FERATĂ URBANE**

### **3.1. Generalități**

Deși față de alte construcții ingineresti calea ferată are o structură simplă și elemente componente care au rămas aceleași de multe decenii, calculul suprastructurii (elementele suprastructurii) căii rămâne o problemă nerezolvată definitiv și univoc. Atât determinarea solicitărilor din elementele suprastructurii căii, cât și dimensionarea acestora reprezintă o problemă nerezolvată de aproape două secole.

La început elementele suprastructurii căii au fost realizate intuitiv, fără să fie dimensionate. În deceniile care au urmat o serie de cercetători au implementat teorii de dimensionare (în special pentru calculul șinei) prin care au obținut rezultate mai apropiate sau mai îndepărtate de realitate. Deficiența majoră a cercetărilor (teoretice și experimentale) în acest domeniu, dar și a rezultatelor obținute este că o mulțime de condiții inițiale și parametri de calcul sunt vagi, neclari, incerți.

Astfel nu există date certe privind mărimea și locul de acționare a sarcinilor transmise la contactul roată-șină. Dacă sarcina statică poate fi stabilită cu o precizie acceptabilă, cea dinamică este mai greu de apreciat și oricum nu este constantă în lungul căii. Coeficientul dinamic, care la construcții are valoare de cca 1,3, poate să ajungă la 2,5...3 la joante. Aparatele și dispozitivele moderne și performante permit măsurarea exactă a solicitărilor și tensiunilor în elementele suprastructurii căii, modelele de calcul și de prelucrare a datelor au evoluat. În zilele noastre pot fi acceptate doar acele metode de dimensionare ale căror rezultate sunt confirmate de măsurătorile efectuate in situ.

O altă cauză a impreciziei metodelor de calcul se referă la aprecierea corectă a caracteristicilor de elasticitate ale suprastructurii. Cercetările din ultimele decenii referitoare la coeficienții de elasticitate a infrastructurii și a suprastructurii căii asigură trecerea de la calculele empirice la cele mai exacte.

Determinarea exactă a solicitărilor orizontale transversale (cauzate de accelerația transversală necompensată de supraînălțare, respectiv de mișcarea de șerpuire a vehiculului) nici azi nu pot fi determinate exact, deși se cunoaște importanța deosebită a acestora atât în dimensionarea suprastructurii, cât și în stabilitatea acesteia.

Forțele orizontale longitudinale pot fi cauzate de vehiculul în mișcare (accelerare, frânare, transmiterea forței de tracțiune) sau de variația temperaturii și au ca efect deplasarea în lung (fugirea) șinelor, modificarea rosturilor de dilatație, iar la calea fără joante (în special) probleme de stabilitate a căii sau ruperea șinelor.

În dimensionarea elementelor suprastructurii căii nu pot fi neglijate forma și dimensiunile acestora, materialele din care sunt realizate.

Pornind de la observațiile sus-menționate, apreciez că studiul acțiunilor respectiv studiul solicitărilor în elementele căii (în vederea dimensionării sau verificării acestora) reprezintă probleme complexe din următoarele cauze:

- calea suportă sarcini verticale, longitudinale și transversale variabile ca mărime, mod de transmitere, distanță între ele, punct de aplicație;
- în aprecierea efectului dinamic intervin foarte mulți factori;

- rezemarea șinelor pe traverse, a traverselor pe stratul de piatră spartă, respectiv pe platforma căii se face în mod elastic, dar și plastic;
- cedarea elastică a traverselor, a stratului de piatră spartă și a platformei este complexă și greu de prins în coeficienții de calcul;
- contactul roată-șină este încă insuficient cunoscut;
- contactul prisma căii-platformă, modul de încastrare a șinelor pe traverse, frecările între traverse și prisma căii nu pot fi prinse în calcule exacte;
- neregularitățile căii, lucrările de întreținere, oboseala materialelor etc., influențează mult exactitatea calculelor.  
Datorită acestor cauze se impun ipoteze simplificatoare, calcule aproximative. Calculele de dimensionare se fac în următoarele situații:
- proiectarea unor suprastructuri noi (un nou tip de traversă, de șină, de prindere, etc.);
- sporirea sarcinii pe osie sau a vitezei de circulație pe o linie existentă;
- verificarea unei suprastructuri (în special șine) uzate.

### 3.2. Noțiuni privind dinamica vehiculelor de cale ferată

Materialul rulant acționează asupra căii cu forțe orizontale și verticale variate. Imperfecțiunile geometriei suprafețelor de rulare, jocurile dintre buza bandajelor și ciuperca șinei, existența curbilor și a joantelor, uzurile șinei și ale bandajelor, elasticitatea căii, etc. duc la apariția unor șocuri. Aceste șocuri ar putea distruge materialul rulant dacă acesta ar fi rigid sau ar putea duce la un disconfort puternic. Pentru evitarea acestor efecte, o parte din masa vehiculului este suspendată sau legată prin arcuri și resorturi montate între șasiul vagonului și osiile montate, toate acestea asigurând un grad mai mare de libertate de mișcare.

Mișcările complexe ale vehiculelor de cale ferată pot fi descompuse și analizate separat în următoarele mișcări simple:

- deplasări pe verticală (săltare);
- deplasări pe orizontală în sensul de mers (mișcări de translație) produse de forțele de inerție: accelerări, frânări, tamponări, manevre, etc.
- rotiri în jurul unei axe orizontale transversale, numite tangaj, provocate de denivelările în lung ale căii; aceleași rotiri cauzate de denivelările de la joante (așezate în aceeași secțiune transversală) poartă denumirea de galopare;
- rotiri în jurul unei axe orizontale longitudinale (legănare sau rului) provocate de denivelările alternative ale celor două fire;
- deplasări laterale într-o mișcare de translație, cauzate de forțele orizontale transversale (forța centrifugă, vântul lateral, denivelări transversale încrucișate, etc.);
- rotiri în jurul unei axe verticale, datorită formei tronconice ale bandajelor roților și forțelor de ghidare;
- mișcarea de șerpuire cauzată de existența jocului dintre buza bandajului și șină cât și de forma tronconică a bandajelor.

### 3.3. Sarcini transmise de vehicule căii

Forțele exterioare care acționează asupra elementelor componente ale liniei de cale ferată sunt foarte variate dar se pot grupa după cum urmează:

### 3.3.1. Sarcini verticale

**Greutatea vehiculelor inclusiv încărcătura** se transmite de către roți șinelor și se poate determina ușor. La dimensionarea căii se ia în considerare sarcina verticală maximă de 250 kN/osie sau 85 kN/m cale. Aceste solicitări sunt statice. Pentru a se determina efectele dinamice se folosește un **coeficient dinamic global** sau **coeficientul de impact** cu care se amplifică sarcinile verticale statice.

Caracterul dinamic al solicitărilor verticale rezultă din:

- caracterul oscilant al mișcării materialului rulant: săltare, tangaj, galopare, legănare;
- supraîncărcarea unui fir al curbei datorită accelerației transversale necompensate de supraînălțare;
- forța centrifugă care apare la racordarea elementelor de profil;
- forța centrifugă în plan vertical care apare din cauza denivelărilor longitudinale și/sau transversale sub roțile (osiile, boghiurile) materialului rulant în mișcare; este interesant de menționat că la viteze mari șina nu are timp să se încovoieie între traverse (deci forța verticală centrifugă rămâne nulă), dar este și o viteză la care această deformație și efectele ei devine maximă;
- capetele rampei supraînălțării produc un spor important al forțelor verticale;
- imperfecțiunile materialului rulant (suprafețe plane ale bandajelor, bandaje ovalizate, suspensia, cuplarea vehiculelor, încărcările excentrice, modul de compunere a trenului etc.);
- imperfecțiunile căii (deformații permanente și elastice ale geometriei căii, uzuri ale materialelor, slăbirea prinderilor și a joantelor, defectele de întreținere etc.);
- viteza materialului rulant.

Se apreciază că starea căii contribuie cu peste 80% la forțele suplimentare dinamice și din cauza faptului că efectele dinamice sunt suprapuse.

Coeficientul dinamic ( $\rho$ ) depinde deci de viteza materialului rulant, de starea căii și a materialului rulant, de tipul de suprastructură, de traseul căii, etc. Din măsurătorile efectuate a rezultat pentru  $\rho$  valori de 1,60 ... 1,80 la  $V_{\max} = 120 \dots 160$  km/h. În calcule se recomandă valoarea acoperitoare  $\rho = 2,40$ .

Corect ar fi ca atunci când acționează mai multe forțe variabile, pentru determinarea forței echivalente maxime să se aplice teoria probabilităților.

În literatura de specialitate sunt date relații empirice pentru determinarea coeficientului dinamic. De exemplu:

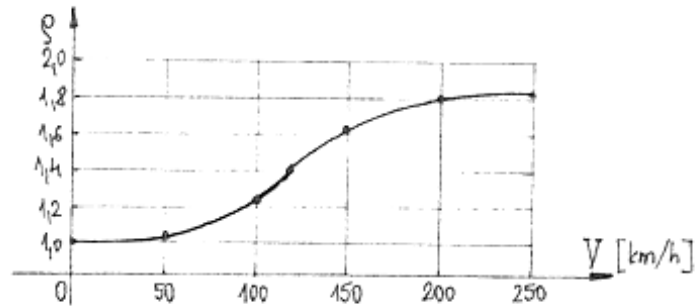
$$\rho = 1 + \frac{v^2}{30000} \text{ dacă } v \leq 100 \text{ km/h;} \quad (3.1)$$

$$\rho = \frac{v^2}{45000} \text{ dacă } v > 100 \text{ km/h;} \quad (3.2)$$

$$\rho = \frac{4,5v^2}{10^5} - \frac{1,5v^3}{10^7} \text{ (în Germania).} \quad (3.3)$$

Experimental s-a demonstrat că variația coeficientului dinamic are forma din figura 3.1.

Aplicarea sarcinilor verticale statice și dinamice se face în jurul punctului de contact roată-șină la nivelul NSS, cu excentricitate de  $\pm 20$  mm față de axa de simetrie a profilului șinei.

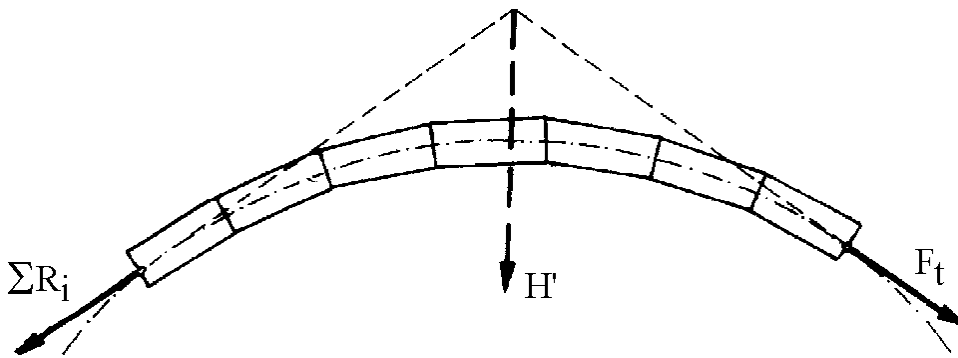


**Fig. 3.1.** Variația coeficientului dinamic

### 3.3.2. Sarcini orizontale transversale

Sarcinile orizontale transversale se transmit căii prin intermediul buzei bandajului și pot proveni din:

- forța centrifugă în curbe, necompensată de supraînălțare; se aplică firului exterior (de obicei) și se poate calcula relativ ușor;
- mișcarea de șerpuire a vehiculelor;
- forța de ghidare;
- rezultanta forțelor de tracțiune ( $F_t$ ) pe de o parte și rezultanta rezistențelor de mers ( $\Sigma R_i$ ) pe de altă parte ( fig. 3.2.);
- forța dată de acțiunea vântului lateral asupra trenului (poate fi determinată prin calcule).



**Fig. 3.2.** Rezultanta forțelor orizontal-longitudinale

Cu excepția forțelor centrifugă și cea dată de acțiunea vântului, celelalte se evaluează prin formule empirice ca cea a lui Nadal:

$$H = 10 + \frac{1}{3}Q \quad [\text{kN}] \quad (3.4)$$

unde:

- H este forța orizontală transversală, în kN;
- Q, sarcina statică pe roată, în kN.

Rezultă valori maxime  $H = 50 \dots 55$  kN.

### 3.3.3. Sarcini orizontale longitudinale

**Forța de tracțiune** ( $F_t$ ) se transmite șinelor tangențial la suprafața de rulare, la contactul cu bandajul roților motoare, în sens invers direcției de mișcare. Forța maximă de tracțiune ( $F_{t\max}$ ) este dată de forța de aderență:

$$F_{t\max} = \mu \cdot Q_m \quad [\text{kN}] \quad (3.5)$$

unde:

$\mu$  este coeficientul de frecare (de aderență) între bandajul roților motoare și șină;

$$\mu = 0,16 \dots 0,33;$$

$Q_m$  – greutatea corespunzătoare osiilor motoare, în kN.

Dacă forța de tracțiune ar fi mai mare decât forța de aderență și rezistențele care se opun mișcării trenului ar fi suficient de mari, roțile locomotivei s-ar roti fără să înainteze (patinare).

**Forța de frânare** ( $F_f$ ) apare și ea la nivelul suprafeței de rulare a șinei și are valoarea:

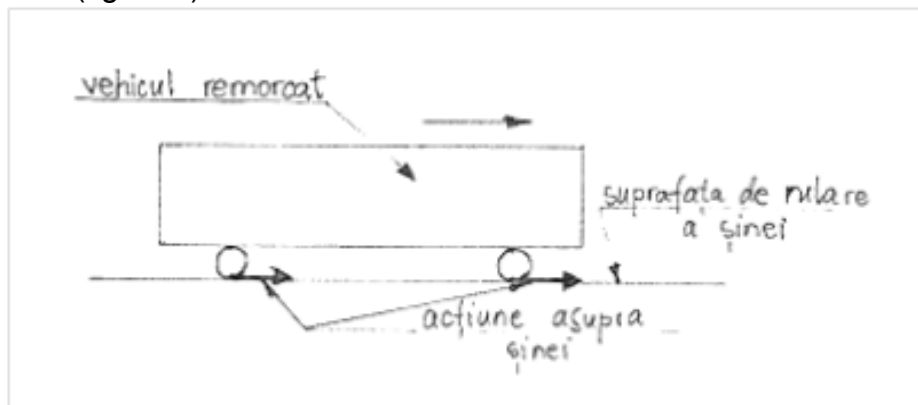
$$F_f = \mu \cdot \Sigma Q_f \quad [\text{kN}] \quad (3.6)$$

unde:

$\Sigma Q_f$  este greutatea corespunzătoare roților frânate (blocate), în kN.

Alte forțe orizontale longitudinale sunt cele provocate de rezistențele care se opun înaintării trenului, forțele de lovire la joante, cele date de încovoierea împiedicată a șinei sub sarcină, etc.

Forțele provocate de rezistența la înaintarea materialului rulant sunt dirijate în sensul de mișcare (fig. 3.3.)

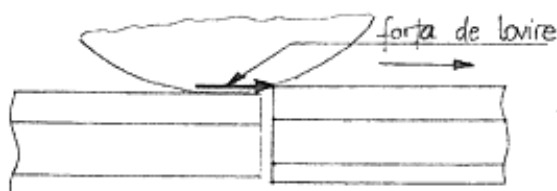


**Fig. 3.3. Rezistențe la înaintare**

Forța de lovire la joante este cauzată de deformațiile de construcție sau elastice (în special denivelările) căii în dreptul joantelor (fig. 3.4.).

Mai poate să apară accidental (în special la locomotivele cu abur) ca forță orizontală longitudinală cea provocată de viteza maselor în mișcare rectilinie alternantă, numită și forță dată de recul.

Forțele orizontale longitudinale datorită variațiilor temperaturii în șine sunt deosebit de importante, dar nu sunt provocate de vehicule.



**Fig. 3.4.** Loviri la joante

### 3.4. Rezistențe întâmpinate de vehicule în mers

În mișcarea lor pe calea ferată, materialul rulant întâmpină o serie de rezistențe (forțe) foarte variate care depind de vehicul (viteză, formă, etc.) sau aparțin căii (elemente geometrice, suprafață de rulare, tip de suprastructură, etc.). Pentru realizarea mișcării, toate aceste rezistențe trebuie învinse de forța de tracțiune dezvoltată de mijlocul de tracțiune.

**Forța de rezistență** [  $R$  ] este măsurată în tf, kgf, N sau kN și este, în cele mai multe cazuri, proporțională cu greutatea vehiculului (  $G$  ). Astfel se definește **rezistența specifică** (  $r$  ) ca fiind:

$$r = \frac{R}{G} \text{ în [kN/kN] sau [tf/tf]} \quad (3.7)$$

sau:

$$r = 1000 \cdot \frac{R}{G} \text{ în [N/kN] sau [kgf/tf] sau [\%]} \quad (3.8)$$

Rezistențele care intervin în mișcarea materialului rulant sunt:

- rezistențele în mișcare de regim (uniformă):
- rezistențe de rulare ( în palier și aliniament );
- rezistențe datorită traseului;
- rezistențe în mișcare variată:
- rezistențe în mișcare accelerată;
- rezistențe în mișcare întârziată;
- rezistențe speciale și accidentale.

#### 3.4.1. Rezistențe în mișcare de regim

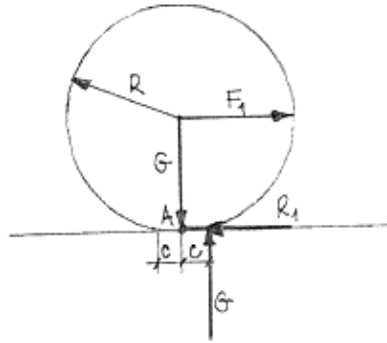
Rezistențele de rulare, adică cele de mers în palier și aliniament, sunt:

- **rezistența de rostogolire** (  $R_1$  ), cauzată de deformarea căii și a roții în dreptul punctului de contact roată șină la N.S.S.;
- **rezistența frecării în lagărele roților** (  $R_2$  ), care apare din cauza frecării la alunecare a lagărului pe fusul osiilor montate;
- **rezistența aerului** (  $R_3$  ), care este dată de presiunea frontală a aerului, de frecarea aerului pe fețele laterale ale materialului rulant și de fenomenul de sucțiune creat de curenții de aer din spatele materialului rulant;



- **rezistențele suplimentare** ( $R_4$ ), care provin din diverse cauze (neparalelismul osiilor, lonjeronilor, ovalizarea bandajelor, variația ecartamentului, denivelările căii, existența rosturilor de dilatație, etc.).

În mod real rezemarea roții pe șină se face pe o suprafață având mărimea în funcție de elasticitatea corpurilor care vin în contact (fig. 3.5.).



**Fig. 3.5. Rezistența la rostogolire**

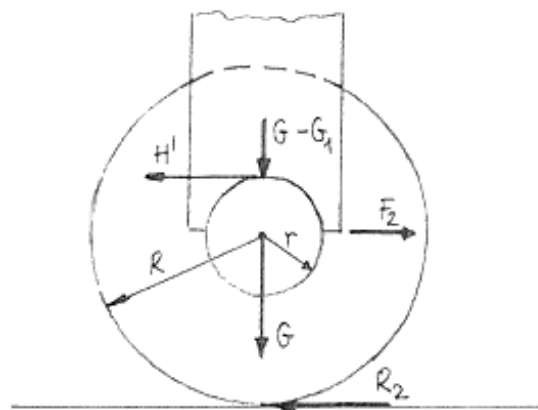
Pragul astfel format produce o rezistență la înaintarea materialului rulant deoarece reacțiunea se deplasează în punctul A și dă naștere unui moment de întârziere  $G \cdot c$ . În figura 3.5,  $G$  reprezintă greutatea care revine unei roți (sau, pentru simplificare, greutatea vehiculului redus la o roată),  $R$  – raza roții la nivelul cercului de rulare,  $F_1$  – forța de tracțiune care asigură rostogolirea,  $R_1$  – forța de rezistență de rostogolire. La limită, când  $R_1 = F_1$ , se poate scrie:

$$G \cdot c = R_1 \cdot R \Rightarrow R_1 = G \cdot \frac{c}{R} \quad (3.9)$$

$$r_1 = 1000 \frac{R_1}{G} = 1000 \frac{c}{R} \quad (3.10)$$

Experimental s-a demonstrat că  $c = 0,3 \dots 0,7$  mm și crește odată cu uzura șinelor și a bandajelor sau odată cu agravarea deformațiilor căii. La calea ferată „c” se mai numește și coeficientul de frecare la rostogolire sau coeficientul rezistenței la rostogolire.

În legătură cu rezistența  $R_2$  dată de frecarea în lagărele roților, rezistența este generată de frecarea notată cu  $H$  în figura 3.6.



**Fig. 3.6. Frecarea în lagăre**

În figura 3.6. și în relațiile următoare  $G_1$  reprezintă greutatea proprie a roții sau a osiei,  $\Psi$  este coeficientul de frecare între fusul osiei și lagăre,  $R$  – raza cercului de rulare,  $r$  – raza aferentă fusului osiei montate. Momentul întârziator  $H' \cdot r$  raportat la periferia roții este:

$$H' \cdot r = R_2 \cdot R \Rightarrow R_2 = H' \cdot \frac{r}{R} = \Psi(G - G_1) \frac{r}{R} \quad (3.11)$$

$$r_2 = \frac{1000}{G} \cdot R_2 = 1000 \cdot \frac{r}{R} \cdot \left(1 - \frac{G_1}{G}\right) \quad (3.12)$$

Pentru determinarea presiunii frontale a aerului se consideră că suprafața A expusă acestei presiuni stă pe loc și aerul se mișcă cu viteza constantă  $v$ . Se egalizează lucrul mecanic necesar pentru a mișca suprafața A expusă presiunii  $p$  a aerului, pe lungimea  $l$ , cu energia cinematică a masei aerului care se mișcă cu viteza  $v$ .

$$p \cdot A \cdot l = \frac{1}{g} \cdot A \cdot l \cdot \vartheta_{aer} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (3.13)$$

Considerând  $p$  [daN/m<sup>2</sup>],  $A$  [m<sup>2</sup>],  $l$  [m],  $\vartheta_{aer}=1,23$  [daN/m<sup>3</sup>],  $v$  [m/s]= $\frac{V}{3,6}$  [km/h], se obține

$$p = 0,5 \left(\frac{V}{10}\right)^2 = \frac{V^2}{200} \quad [\text{daN/m}^2]. \quad (3.14)$$

Forța de rezistență  $R_3$  aferentă suprafeței frontale a locomotivei ( $A= 10\dots 12$  m<sup>2</sup>) se poate determina astfel:

$$R_3 = p \cdot A \cdot \rho \quad [\text{daN}] \quad (3.15)$$

unde  $\rho$  este un coeficient subunitar pentru reducerea rezistenței frontale din cauza formei aerodinamice a părții frontale a locomotivei.

$$R_3 \cong \frac{V^2}{200} \cdot 10 \cdot \rho \Rightarrow R_3 \cong \rho \frac{V^2}{20} \quad [\text{daN}] \quad (3.16)$$

Se constată că rezistența  $R_3$ :

- depinde de pătratul vitezei materialului rulant; la această viteză se adaugă viteza vântului care suflă din față;
- nu depinde de greutatea vehiculului;
- depinde de foarte mulți factori legați de materialul rulant (formă, materiale) motiv pentru care este determinată cu relații empirice;
- poate fi deosebit de importantă în cazul trenurilor de mare viteză.

Referitor la rezistențele suplimentare ( $R_4$  și  $r_4$ ), acestea nu pot fi stabilite nici măcar aproximativ (la fel ca și  $R_1$ ,  $R_2$  și  $R_3$ ), motiv pentru care sunt înglobate (împreună cu  $R_1$ ,  $R_2$  și  $R_3$ ) în formule de calcul empirice.

În practică, se definește **rezistența de mers** ( $R_0$ ) sau **rezistența de rulare** astfel:

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad [\text{kN}] \quad (3.17)$$

Rezultă rezistența specifică de mers (de rulare)  $r_0$ :

$$r_o = 1000 \cdot \frac{R_0}{G} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 \text{ în } [\text{N/kN}] \text{ sau } [\%] \quad (3.18)$$

Rezistența de mers ( $R_0$  sau  $r_0$ ) apare în aliniament și palier când viteza materialului rulant este constantă. În literatura de specialitate sunt date relații de calcul (empirice, relativ simple, uneori mai complicate) pentru locomotive, vagoane, automotoare, trenuri, în care viteza materialului rulant ( $V$ , în km/h) și a vântului contrar ( $\Delta V$  în km/h) reprezintă factorii principali.

Astfel, pentru locomotive diesel electrice:

$$r_{oL} = 3,5 + 0,04 \left( \frac{V + \Delta V}{10} \right)^2 \quad [\%], \quad (3.19)$$

iar pentru locomotive electrice:

$$r_{oL} = 1,2 + 0,025(V + \Delta V) + 16 \cdot 10^{-5}(V + \Delta V)^2 \quad [\%] \quad (3.20)$$

sau:

$$R_{oL} = 296 + 7,068 \left( \frac{V + \Delta V}{10} \right)^2 \quad [\text{daN}] \quad (3.21)$$

Forța de rezistență întâmpinată de un automotor având suprafața frontală  $A$  [ $\text{m}^2$ ], se calculează cu:

$$R_{oa} = 1,8G_a + 0,225A \left( \frac{V + \Delta V}{10} \right)^2 \quad [\text{daN}] \quad (3.22)$$

Pentru vagoane de călători a fost propusă la ICPTT București relația de calcul:

$$r_{oV} = 2 + \frac{V^2}{n} \quad [\%] \quad (3.23)$$

unde:

- $n = 3200$ , pentru vagoane de călători cu 4 osii;
- $n = 2500$ , pentru vagoane cisternă și platformă, încărcate, cu 4 osii;
- $n = 1950$ , pentru vagoane de călători cu 2 osii;
- $n = 1600$ , pentru vagoane de marfă amestecate (încărcate și goale);
- $n = 100$ , pentru vagoane cisternă sau de cărbuni goale, cu 2 sau 4 osii;
- $n = 850$ , pentru trenuri de marfă goale, în compunere amestecată.

În cazul unui tren de marfă din vagoane de diferite tipuri și încărcări se recomandă relația:

$$r_{oV} = \frac{\sum(r_{oVi} \cdot G_{Vi})}{\sum G_{Vi}} = \frac{\sum(r_{oVi} \cdot G_{Vi})}{G_V} \quad [\%] \quad (3.24)$$

unde:

- $r_{oVi}$  este rezistența specifică de mers pentru vagonul de greutate  $G_{Vi}$ ;
- $G_V = \sum G_{Vi}$  – greutatea întregii garnituri de vagoane.

Rezistența de mers pentru un tren întreg este dată de relația:

$$R_0 = r_{oV} \cdot G_L + r_{oV} \cdot G_V \quad [\text{daN}] \quad (3.25)$$

iar rezistența specifică:

$$r_0 = \frac{R_0}{G_L + G_V} = \frac{r_{0L} \cdot G_L + r_{0V} \cdot G_V}{G_{tren}} \quad [\%] \quad (3.26)$$

sau, o altă relație:

$$r_0 = 2,4 + \frac{V^2}{1300} \quad [\%] \quad (3.27)$$

Pentru exemplificare:

- pentru vagoane:  $r_{0V} = 3 \dots 4$  [%]
- pentru locomotive:  $r_{0L} = 6 \dots 8$  [%]
- pentru un tren:  $r_0 = 4 \dots 5$  [%].

Se observă că rezistența specifică de rulare pe calea ferată este mică în comparație cu cea care intervine în mișcarea autovehiculelor (unde  $r_0 = 10 \dots 40$  N/kN) sau în transporturile aeriene (120...150 N/kN).

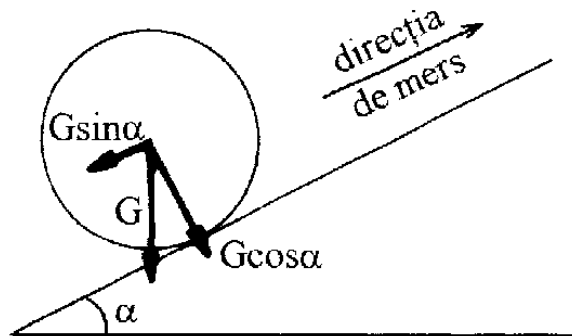
### 3.4.2. Rezistențele datorită traseului

**Rezistența datorită declivităților** ( $R_5$ ) se calculează folosind notațiile din figura 3.7.

$$R_5 = R_d = G \sin \alpha \quad [\text{kN}] \quad (3.28)$$

$$r_5 = r_d = 1000 \cdot \frac{G \sin \alpha}{G} = 1000 \cdot \sin \alpha \cong 1000 \cdot \text{tg} \alpha = 1000 \cdot i \quad [\%] \quad (3.29)$$

Se poate spune că fiecare vehicul care circulă în rampă trebuie să învingă suplimentar o rezistență în daN egală cu valoarea declivității în %.



**Fig.3.7. Rezistența datorită declivității**

Se menționează că în cazul circulației în pantă, rezistența specifică ( $r_5$ ) devine forță de tracțiune specifică.

**Rezistența datorită curbilor** ( $R_6$ ) apare datorită forțelor de frecare suplimentare la circulația materialului în curbă; pentru calculul rezistențelor specifice ( $r_6$ ) se folosesc formule empirice de forma:

$$r_6 = r_{cb} = \frac{800}{R} \quad [\%] \quad (3.30)$$

unde:

- $R$  este raza curbei în [ m ].

Forțele de frecare suplimentare care produc rezistența  $R_6$  provin din următoarele cauze:

- la mișcarea în curbă roțile osiei, chiar cu forma tronconică a bandajelor, nu efectuează mișcare de rostogolire pură; alunecările și patinările produc rezistențe suplimentare din cauza frecărilor;
- aceeași mișcare în curbă poate fi descompusă într-o mișcare de translație (rostogolire) și o mișcare de rotație (în jurul unui „centru de frecare”) care generează forțe de frecare deci rezistențe suplimentare;
- forța de ghidare în curbă produce frecare între forța laterală activă a șinei și buza bandajului;
- chiar dacă nu are o valoare importantă, inerția la rotire a vehiculului la intrarea în curbă sporește rezistența  $R_6$ ;
- excesul sau insuficiența de supraînălțare produce deplasarea vehiculului spre interiorul sau spre exteriorul curbei, implicit frecări între bandaje și șine și rezistențe suplimentare.

Rezistența în curbă depinde de foarte mulți factori:

- geometria liniei (raza curbei, ecartamentul, supraînălțarea, racordările);
- materialul rulant (numărul osiilor, ampatamentul, existența și tipul boghiurilor, diametrul roților, tensiunile din aparatele de legare și tampoane etc.);
- uzura șinelor și a bandajelor;
- viteza de circulație;
- coeficienții de frecare;
- lungimea trenului, a curbelor, poziția trenului în curbă.

Neputându-se lua în calcul toți factorii, în practică se utilizează relații empirice sau semiempirice ca cea deja prezentată sau altele, cum ar fi cele de mai jos, valabile când trenul întreg se află în curbă:

$$r_6 = \frac{650}{R-55} \quad [\%], \text{ dacă } R > 350 \text{ m}; \quad (3.31)$$

$$r_6 = \frac{530}{R-35} \quad [\%], \text{ dacă } 250 < R \leq 350 \text{ m}; \quad (3.32)$$

$$r_6 = \frac{500}{R-30} \quad [\%], \text{ dacă } R \leq 250 \text{ m}. \quad (3.33)$$

Dacă lungimea trenului ( $l_{tr}$ ) este mai mare decât lungimea curbei ( $l_c$ ) se va lua în considerare doar rezistența aferentă lungimii aflate sub tren:

$$r_6 = \frac{800}{R} \cdot \frac{l_c}{l_{tren}} \quad [\%] \quad (3.34)$$

Considerând  $\alpha$  unghiul de abatere, în grade sexagesimale, se obține:

$$r_6 = \frac{800}{R} \cdot \frac{\pi R \alpha}{l_{tr}} = \frac{14\alpha}{l_{tr}} \quad [\%] \quad (3.35)$$

În cazul când trenul se află pe mai multe curbe calculul se face cu:

$$r_6 = \frac{14\Sigma\alpha}{l_{tr}} \quad [\%] \quad (3.36)$$

Pornind de la relația  $l_c = \frac{\pi R\alpha}{180}$ , rezultă  $R = \frac{180}{\pi\alpha} \cdot l_c$  care înlocuită în prima expresie  $r_6 = \frac{800}{R}$  ne dă o nouă relație:

$$r_6 = \frac{14\alpha}{l_c} \quad [\%] \quad (3.37)$$

Se observă că lucrul mecanic al rezistenței specifice  $r_6$  pe lungimea curbei nu depinde de raza curbei, ci numai de unghiul de abatere:

$$r_6 \cdot l_c = 14\alpha \quad (3.38)$$

Se definește **rezistența caracteristică a liniei** ( $r_c$ ) astfel:

$$r_c = r_d + r_{cb} = r_5 + r_6 \quad [\%] \quad (3.39)$$

Rezistența caracteristică  $r_c$  devine hotărâtoare în privința posibilităților de remorcare a trenurilor, este o informație esențială într-o temă de proiectare a unei linii ferate.

### 3.4.3. Rezistențele în mișcarea variată

**Rezistența la demarare** ( $R_7$  și  $r_7$ ) este o rezistență în mișcare accelerată și apare în momentul pornirii (demarării) trenului; măsurătorile experimentale arată că în cazul unui tren:

$$r_7 = 15...20 \quad [\text{N/kN}] \text{ sau } [\%] \quad (3.40)$$

dar această valoare nu apare deoarece vagoanele se pun în mișcare pe rând; în acest caz în calcule obișnuite se lucrează cu:

$$r_7 = 4 \quad [\%] \quad (3.41)$$

**Rezistența la accelerare** ( $R_8 = R_{ia}$ ) reprezintă suma rezistențelor date de forțele de inerție ale vehiculului care se opun sporirii vitezei de la viteza inițială ( $v_i$ ) la cea finală ( $v_f$ ):

$$R_8 = R_{ia} = m \cdot a = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V_f - V_i}{3,6 \cdot t} \quad (3.42)$$

Dacă se consideră lungimea ( $l_a$ ) pe care se face accelerarea, se obține:

$$l_a = \frac{v_i + v_f}{2} \cdot t \Rightarrow t = \frac{2 \cdot l_a}{v_i + v_f} = \frac{7,2 \cdot l_a}{V_i + V_f}$$

$$R_8 = R_{ia} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V_f^2 - V_i^2}{3,6 \cdot 7,2 \cdot l_a} \cong \frac{G}{254 \cdot l_a} (V_f^2 - V_i^2)$$

$$r_8 = r_{ia} = 1000 \cdot \frac{R_8}{G} \cong \frac{4(V_f^2 - V_i^2)}{l_a} \quad [\text{‰}] \quad (3.43)$$

Rezistența specifică  $r_8$  se mai poate calcula pornind de la relația (3.44):

$$r_8 = r_{ia} = \frac{1000}{G} \cdot \frac{G}{g} \cdot a \cong 102 \cdot a \quad (3.44)$$

una din rezistențele în mișcare întârziată este **rezistența de frânare** ( $R_9 = R_f$ ):

$$R_{9\max} = R_{f\max} = \mu \cdot G_f \quad [\text{kN}] \quad (3.45)$$

$$r_{9\max} = r_{f\max} = 1000 \cdot \mu \quad [\text{‰}] \quad (3.46)$$

Rezistența specifică totală în cazul frânării va fi:

$$r_{f\text{ total}} = r_o \pm r_d + r_{cb} + r_f \quad (3.47)$$

**Rezistența la parcurgerea rampelor cu avânt** ( $R_{10}$  și  $r_{10}$ ) duce la micșorarea vitezei vehiculului de la  $v_i$  la  $v_f < v_i$ . Rezultă:

$$r_{10} = -r_{ia} = \frac{4(V_i^2 - V_f^2)}{l_r} \quad [\text{‰}] \quad (3.48)$$

unde:

- $l_r$  este lungimea rampei, în m.

#### 3.4.4. Rezistențe speciale și accidentale

**Rezistența cauzată de instalații speciale** ( $R_{11}$ ) apare când o parte din energia locomotivei este consumată de instalațiile de iluminat, încălzit, ventilat, etc. consumând o anumită forță de tracțiune disponibilă.

**Rezistența accidentală** datorită vântului lateral ( $R_{12}$ ) este independentă de rezistența aerului ( $R_3$ ) și are valori de  $r_{12} = 0,5 \dots 2,0$  [‰], în funcție de viteza vântului.

**Rezistența suplimentară** la temperaturi joase ( $R_{13}$ ) se ia în considerare când  $T < -10$  °C. Rezistența specifică  $r_{13}$  se calculează cu formula:

$$r_{13} = 0,001 \cdot T^2 \quad [\text{‰}] \quad (3.49)$$

**Rezistența suplimentară în tuneluri** ( $R_{14}$ ) este dată de rezistența sporită a aerului, mai ales în tunelurile lungi; astfel, din măsurătorile experimentale a rezultat  $r_{14} = 3 \dots 6$  [N/kN] sau [‰];

în calculul capacității triajelor, a cocoșelor de triere, etc. se ia în considerare și rezistența dată de schimbătoare ( $R_{15}$ ). În urma măsurătorilor experimentale

efectuate pentru vagoane izolate, au rezultat valorile:  $r_{15} = 2...4$  N/kN pentru linia directă și  $r_{15} = 5...8$  N/kN pentru linia abătută, pentru fiecare schimbător.

### 3.5. Forța de tracțiune

Mișcarea materialului rulant se produce dacă rezistențele ( $R_i$ ) care se opun mișcării sunt învinse de forța de tracțiune ( $F_t$ ).

Forța de tracțiune este limitată superior la valoarea forței de aderență (relația 3.50):

$$F_{t \max} = \mu \cdot Q_m \quad [\text{kN}] \text{ sau } [\text{daN}] \quad (3.50)$$

Coeficientul de aderență (de frecare)  $\mu$  se poate determina cu relații empirice de forma:

$$\mu = 0,161 + \frac{7,5}{44 + V} \quad (3.51)$$

unde:

- $V$  este viteza materialului rulant în [ km/h ]

Dacă  $v$  [ m/s ] este viteza materialului rulant,  $\omega$  - viteza unghiulară a roților iar  $R$  - raza cercului de rulare, pot fi deosebite următoarele tipuri de mișcare:

dacă  $v < \omega \cdot R$ , roțile motoare patinează;

dacă  $v = \omega \cdot R$ , mișcarea este de rostogolire fără alunecare;

dacă  $v > \omega \cdot R$ , se produce mișcarea de rostogolire cu alunecare.

Relația 3.50 limitează superior forța de tracțiune iar limita inferioară a acesteia este dată de:

$$F_t \geq \sum R_i \quad (3.52)$$

Forța de tracțiune este determinată de puterea indicată a motorului locomotivei ( $N$ , în CP), de condițiile de transmitere a puterii indicate la roți și de condițiile de aderență. Pentru cazul locomotivelor diesel și electrice se determină forța de tracțiune la periferia roților (tangențială sau la obadă) cu relația:

$$F_t = \frac{270N}{V} \cdot \eta \quad (3.53)$$

unde:

- $N$  este puterea indicată a motorului, în CP;
- $V$  - viteza materialului rulant, în km/h;
- $\eta$  - coeficientul de randament al motorului.

În figura 3.8. sunt prezentate diagramele caracteristice ale forțelor de tracțiune pentru o locomotivă diesel - electrică 060 - DA - 1 (având  $G_L = 116$  t și  $V_{\max} = 120$  km/h) și pentru o locomotivă electrică 060 - EA - 1 (având  $G_L = 120$  t și  $V_{\max} = 160$  km/h). Pe aceleași diagrame sunt prezentate și diagramele forțelor de aderență ( $F_a$ ) care limitează superior  $F_t$ , construite pe baza relațiilor (3.50) și (3.51).



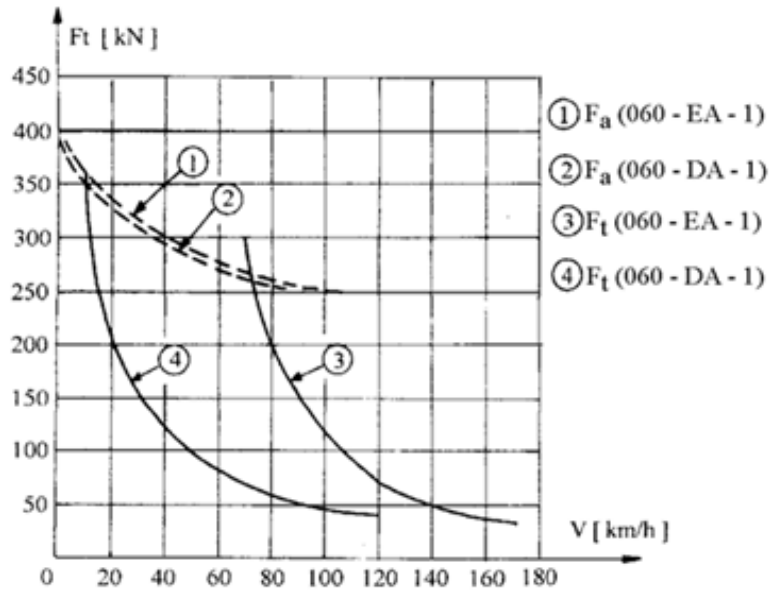


Fig. 3.8. Diagramele forței de tracțiune

Forța de tracțiune specifică ( $f_t$  în N/kN) este cea disponibilă ( $F_t$ , în kN) pentru fiecare kN din greutatea trenului ( $G_{tren} = G_{locomotivă} + G_{vagoane} = G_L + G_V$ , în kN) și este dată de relația:

$$f_t = 1000 \cdot \frac{F_t}{G_{tren}} = 1000 \cdot \frac{F_t}{G_L + G_V} \quad [\text{N/kN}] \quad (3.54)$$

Forțele de rezistență ( $R$ ) se determină cu relația:

$$R = G \cdot \sum r_i \quad [\text{N}] \text{ sau } R = \frac{G \cdot \sum r_i}{1000} \quad [\text{kN}] \quad (3.55)$$

unde:

- $\sum r_i$  reprezintă suma rezistențelor specifice care se opun înaintării trenului;
- $G$  este greutatea vehiculului.

### 3.6. Calculul șinei

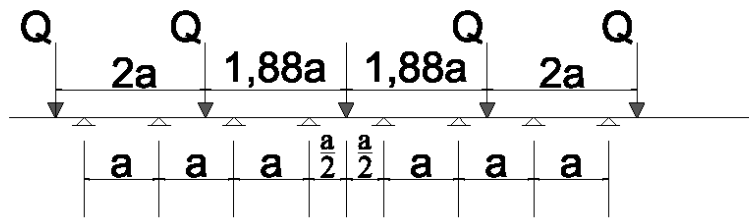
#### 3.6.1. Calculul șinei la încovoiere

Calculul șinei se poate face în ipoteza reazemelor rigide sau în ipoteza rezemării șinei pe un mediu elastic.

##### 3.6.1.1. Ipoteza reazemelor rigide

Calculul cel mai simplu se poate face prin metoda Winkler, considerând șina ca fiind o grindă continuă, rezemate pe traverse așezate la distanțe egale ( $a$ ) și

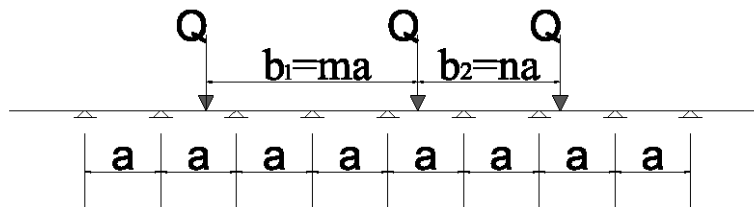
încărcate cu sarcini verticale egale ( $Q$ ) dispuse ca în fig. 3.9 pentru a rezulta valoarea maximă pentru momentul încovoietor.



**Fig. 3.9.** Schema de încărcare a șinei după Winkler

$$M_{\max} = 0,1888 \cdot Q \cdot a \quad (3.56)$$

În fig. 3.10. este prezentată schema de încărcare propusă de UIC (Uniunea Internațională de Căi Ferate) rezultând următoarea relație pentru calculul momentului maxim:



**Fig. 3.10.** Schema de încărcare a șinei după UIC

$$M_{\max} = \frac{12mm - 7(m+n)}{43mm - (m+n)} \cdot \frac{Q \cdot a}{4} \quad (3.57)$$

### 3.6.1.2 Ipoteza reazemelor elastice (Zimmermann)

Calculul mai exact al momentului încovoietor maxim se poate face în ipoteza rezemării elastice a șinei. Elasticitatea rezemării se definește prin coeficienți de elasticitate (de deformăție, de rezemare, de balast). Se apreciază că elasticitatea sistemului șine - traverse - piatră spartă - terasament depinde în primul rând de prisma căii.

În cazul rezemării elastice deformăția ( $y$ ) este proporțională cu presiunea ( $p$ ). Coeficientul de proporționalitate ( $c$ ) se numește coeficient de balast, de elasticitate, de deformăție.

$$p = c \cdot y \quad (3.58)$$

Coeficientul de balast se poate calcula cu relații empirice, ca de exemplu:

$$c = \frac{Q}{4 \cdot L \cdot y} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{E \cdot I_y}} \quad (3.59)$$

În calcule se admit valorile:

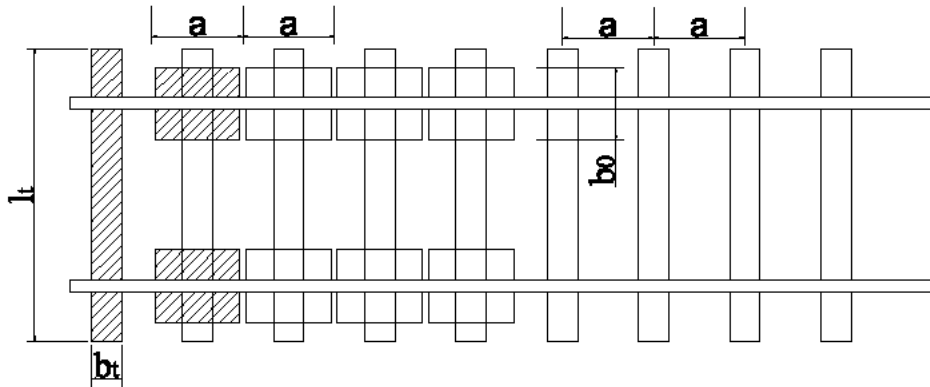
- $c = 4 \dots 5 \text{ daN/cm}^3$  pentru prisma căii din piatră soartă, terasament din pământ și traverse din lemn;
- $c = 12 \dots 20 \text{ daN/cm}^3$  pentru prisma căii din piatră soartă, terasament din pământ și traverse din beton.

Coeficientul  $c$  sporește de 2 ... 3 ori dacă prisma căii este înghețată și de 1,2 ... 2 ori dacă terasamentul este mai rigid (stâncă).

Întrucât nu se poate determina exact coeficientul de balast  $c$ , unii cercetători recomandă valoarea convențională  $c = 14,6 \text{ daN/cm}^3$ .

Elasticitatea rezemării se poate exprima și prin modulul de deformație ( $U$ ) al patului (modulul căii). Folosind notațiile din fig. 3.11 se obține:

$$U = c \cdot b_o = \frac{c \cdot l_t \cdot b_t}{2 \cdot a} \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.60)$$



**Fig. 3.11.** Rezemarea continuă a șinei pe patul căii

Valoarea convențională medie a modulului  $U$  se consideră  $U = 550 \text{ daN/cm}^2$ .

La calea ferată se mai definește „caracteristica elastică a reazămelor” ( $D$ ) ca fiind forța  $Q'$  [ daN ] care aplicată pe reazeme (traversă) produce o tasare  $y = 1 \text{ cm}$ .

$$Q' = D \cdot y \Rightarrow D = \frac{Q'}{y} \quad [\text{daN/cm}]$$

$$D = c \cdot b_o \cdot a = U \cdot a \quad (3.61)$$

Caracteristica „ $D$ ” poate lua valori de 10.000 ... 100.000 daN/cm în funcție de caracteristicile elementelor elastice și în funcție de distanța dintre traverse ( $a$ ). Pentru  $U = 550 \text{ daN/cm}^2$  și  $a = 60 \text{ cm}$  rezultă  $D = 33.000 \text{ daN/cm}$ .

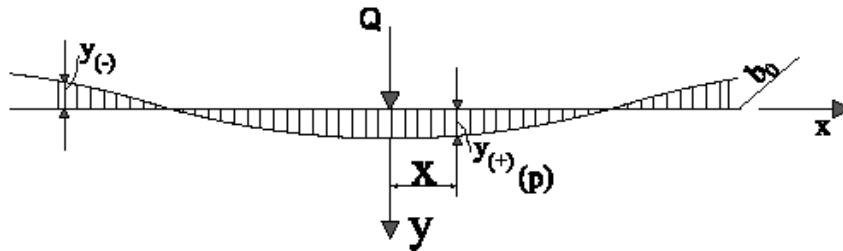
Solicitarea șinei din sarcini verticale statice după Zimmermann se face considerând șina de lungime infinită, având rigiditatea  $EI$  și sprijinită:

- continuu pe mediu elastic, uniform, caracterizat prin modulul  $U$ ;
- punctiform în dreptul taverselor considerate reazăme elastice caracterizate prin coeficientul  $D$ .

Calculul se face pentru un singur fir neglijându-se efectul de cadru șine-traverse.

În ipoteza rezemării continue, se consideră următoarele notații:

- El este rigiditatea șinei (E este modulul de elasticitate al oțelului, iar I = I<sub>x</sub>);
- U=c b<sub>0</sub>-modulul de deformație;
- M - momentul încovoietor din sarcini verticale statice;
- T - forța tăietoare din sarcini verticale statice;
- Q - sarcina transmisă șinei de o roată (Q' - sarcina care revine unei traverse).



**Fig. 3.12.** Șina rezemată continuu pe mediu elastic

În ipotezele admise și cu notațiile din fig. 3.12 se pornește de la relațiile:

$$\frac{dT}{dx} = U \cdot y; \quad \frac{dM}{dx} = T$$

și se obține:

$$\frac{d^4 M}{dx^4} + \frac{M \cdot U}{EI} = 0 \quad (3.62)$$

Zimmermann a introdus în calcule „lungimea elastică” a șinei (L) numită și „elementul de bază al suprastructurii” și care este echivalentă cu lungimea unei grinzi simplu rezemate în care o sarcină Q aplicată la mijlocul ei, determină un moment încovoietor egal cu cel din șină.

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{U}} \quad [\text{cm}] \quad (3.63)$$

Se ajunge la expresii mai simple pentru mărimile statice căutate (M, T, y și  $\varphi$ ); se notează  $K = \frac{1}{L}$ :

$$M = \frac{Q \cdot L}{4} \cdot e^{-K \cdot x} \cdot (\cos Kx - \sin Kx) = \frac{Q \cdot L}{4} \eta_M \quad (3.64)$$

$$T = \frac{dM}{dx} = -\frac{Q}{2} \cdot e^{-Kx} \cdot \cos Kx = \frac{Q}{2} \cdot \eta_T \quad (3.65)$$

$$y = \frac{1}{U} \cdot \frac{d^2 M}{dx^2} = \frac{Q}{2 \cdot L \cdot U} \cdot e^{-Kx} (\cos Kx + \sin Kx) = \frac{Q}{2 \cdot L \cdot U} \cdot \eta_y \quad (3.66)$$

$$\varphi = \frac{1}{U} \cdot \frac{d^3 M}{dx^3} = -\frac{Q}{L \cdot U} \cdot e^{-Kx} \sin Kx = \frac{Q}{L \cdot U} \cdot \eta_\varphi \quad (3.67)$$

Pentru șina având lungimea infinită valorile  $\eta_M$ ,  $\eta_T$ ,  $\eta_y$  și  $\eta_\varphi$  se pot calcula, lua din tabele sau din grafice. Graficele se utilizează sub forma unor linii de influență (fig. 3.13).

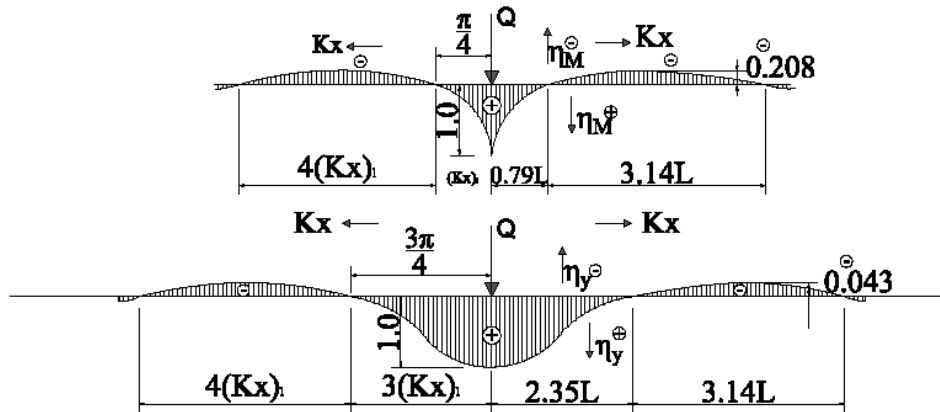


Fig. 3.13. Linii de influență pentru  $\eta_M$  și  $\eta_y$

Se poate aplica principiul suprapunerii efectelor și proprietățile liniilor de influență și se obțin următoarele mărimi mai importante:

$$M = \frac{L}{4} \cdot \sum Q_i \cdot \eta_{Mi} = \sqrt[4]{\frac{E \cdot I}{64 \cdot U}} \sum Q_i \cdot \eta_{Mi} \quad (3.68)$$

$$y = \frac{1}{2 \cdot L \cdot U} \cdot \sum Q_i \cdot \eta_{yi} = \frac{1}{\sqrt[4]{64 \cdot E \cdot I \cdot U^3}} \cdot \sum Q_i \cdot \eta_{yi} \quad (3.69)$$

$$p = c \cdot y = \frac{\sqrt[4]{U}}{b_o \cdot \sqrt[4]{64 \cdot E \cdot I}} \cdot \sum Q_i \cdot \eta_{yi} \quad (3.70)$$

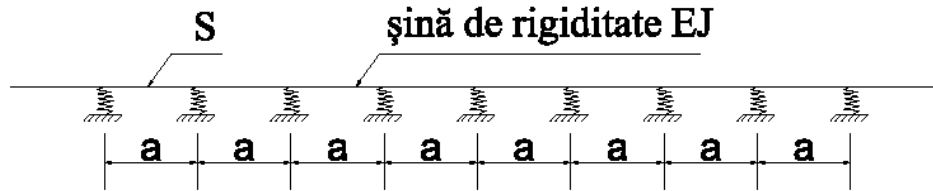
$$Q' = \frac{a}{2L} \cdot \sum Q_i \cdot \eta_{yi} = \frac{a \cdot \sqrt[4]{U}}{\sqrt[4]{64 \cdot E \cdot I}} \cdot \sum Q_i \cdot \eta_{yi} \quad (3.71)$$

Din relațiile 3.68 ... 3.71 pot fi trase următoarele concluzii:

- $M_{\max}$  se obține aplicând o singură forță plasată în dreptul ordonatei maxime (1,0);
- în cazul boghiurilor (sarcini verticale învecinate) tasările verticale ( $y$ ) și presiunile ( $p$ ) sporesc, deoarece zona centrală (cu ordonate pozitive) se extinde pe distanța 4,70 L;
- momentul încovoietor  $M$  crește dacă modulul  $U$  scade; în aceeași situație solicitarea traverselor, a prismeii căii, a stratului de repartiție și a terasamentelor scade deoarece sarcina  $Q$  se transmite în același timp la mai multe traverse;
- în cazul osiilor apropiate (boghiuri) solicitarea la încovoiere a șinei scade, deoarece pe bucla pozitivă a liniei  $\eta_M$  (având lungimea 1,57 L)

nu încape decât o singură roată (osie); în aceeași situație solicitarea celorlalte elemente ale suprastructurii crește.

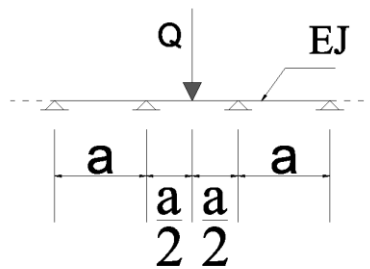
În cea de a doua ipoteză de calcul Zimmermann consideră șina ca o grindă continuă așezată pe reazăme elastice (traverse) punctiforme (fig. 3.14).



**Fig. 3.14.** Șina așezată pe reazăme elastice punctiforme

În literatura de specialitate se arată că rezultatele calculelor efectuate în cele două ipoteze de calcul diferă cu cel mult 8 % , motiv pentru care în continuare nu se va prezenta calculul șinei în ipoteza reazămelor elastice punctiforme.

Zimmermann a prezentat și o variantă simplificată. Se consideră șina limitată la trei deschideri și încărcată la mijlocul deschiderii centrale cu forța Q (fig. 3.15).



**Fig. 3.15.** Schema de încărcare a șinei pentru metoda simplificată a lui Zimmermann

Dacă B reprezintă măsura rezistenței șinei adică forța necesară pentru a produce o deformăție de 1 cm în șina simplu rezemată cu deschiderea 2a (forța B acționând la mijlocul grinzii) rezultă relațiile:

$$B = \frac{6 \cdot E \cdot I}{a^3} \quad [ \text{daN/cm} ] \quad (3.72)$$

$$M_{max} = \frac{Q \cdot a}{4} \cdot \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} \quad [ \text{daN cm} ] \quad (3.73)$$

$$\gamma = \frac{B}{D} = \frac{6 \cdot E \cdot I}{a^3} \cdot \frac{2}{c \cdot l_t \cdot b_t} = \frac{12 \cdot E \cdot I}{c \cdot l_t \cdot b_t \cdot a^3} \quad (3.74)$$

După determinarea momentelor încovoietoare rezultă efortul unitar  $\sigma$  în șină din sarcini verticale statice:

$$\sigma = \frac{M}{W_x}; \quad \sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} \quad [ \text{daN/cm}^2 ] \quad (3.75)$$

În dreptul reazemelor 2 și 3 expresia momentului este:

$$M_2 = M_3 = \frac{4\gamma - 3}{4\gamma + 10} \cdot \frac{Q \cdot a}{4} \quad [\text{daNcm}] \quad (3.76)$$

### 3.6.2. Supraîncărcarea datorită efortului dinamic

Caracterul dinamic al forțelor care acționează asupra căii transmise de către materialul rulant în mișcare, este cauzat de următoarele:

- masele suspendate și, mai ales, cele nesuspendate ale materialului rulant;
- geometria căii (în special curbele);
- modul de alcătuire al căii;
- elasticitatea căii;
- imperfecțiuni în execuția și întreținerea căii și a materialului rulant;
- uzura (în special cea neuniformă) a căii și a materialului rulant.

Supraîncărcarea este prinsă în calcule prin coeficientul dinamic ( $\rho$ ) care depinde, pe lângă cauzele sus-menționate, și de viteza de circulație ( $V$ ). Coeficientul  $\rho$  se poate determina cu relațiile empirice de forma:

$$\rho = 1 + \frac{15 \cdot V}{d_r \cdot \sqrt{U}} \quad (3.77)$$

unde  $d_r$  este diametrul cercului de rulare [ cm ].

Pentru  $V = 120$  km/h,  $d_r = 100$  cm și  $U = 550$  daN/cm<sup>2</sup> rezultă  $\rho = 1,77$ .

În literatura de specialitate sunt date și alte relații empirice, ca de exemplu:

$$\rho = 1 + \frac{4,5 \cdot V^2}{10^5} - \frac{1,5 \cdot V^3}{10^7} \quad (3.78)$$

Valoarea coeficientului dinamic se poate stabili experimental. În Franța au fost obținute rezultatele prezentate în tabelul 3.1.

*Tabelul 3.1. Coeficienți dinamici stabiliți experimental în Franța*

Tipul materialului rulant	Vagoane de marfă	Vagoane călători	Locomotivă electrică	Turbotren
V [ km/h ]	70 ... 120		160 ... 200	
$\rho$	1,52 ... 1,57	1,67 ... 1,73	1,64 ... 1,76	1,71

Administrația feroviară română a stabilit coeficienții dinamici din tabelul 3.2.

*Tabelul 3.2. Coeficienți dinamici stabiliți de C.F.R.*

V [km/h]	0	10	15	25	35	40	45	50	55	60	70	>70
$\rho$	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,50	2,40

Se observă că se păstrează valoarea acoperitoare  $\rho = 2,40$  pentru  $V \geq 70\text{km/h}$  deoarece se consideră că pot apare concomitent efectele maxime din toate cauzele care generează caracterul dinamic al sarcinilor.

Supraîncărcarea ( $\Delta Q$ ) dinamică este:

$$\Delta Q = (\rho - 1) \cdot Q \quad (3.79)$$

Dacă se înlocuiește sarcina statică ( $Q$ ) cu sarcina dinamică ( $Q_d$ ) se obține:

$$Q_d = Q + \Delta Q = \rho \cdot Q \quad (3.80)$$

$$\sigma_{real} = \sigma_d = \rho \cdot \sigma \quad (3.81)$$

### 3.6.3. Eforturi în șină din forțe orizontale transversale

Forța orizontală de șerpuire este cauzată de imperfecțiunile căii și de jocul dintre ecartament și buzele bandajelor. La această forță se adaugă în curbe forțele de ghidare și forțele centrifuge necompensate prin supraînălțare dar și forța dată de acțiunea vântului.

Forța orizontal transversală poate avea valori importante iar modulul  $W_y$  este redus, totuși eforturile de încovoiere din șină sunt relativ mici deoarece:

- la deformația căii în plan orizontal se opun ambele șine;
- cadrul șine-traverse este un fel de grindă cu zăbrele (grindă Vierendel) orizontală; o șină este solicitată la întindere iar cealaltă la compresiune și nu la încovoiere;
- la deformațiile căii în plan orizontal se opune prisma căii;
- forța orizontal-transversală este preluată și de momentul de rezistență la răsucire al șinei pe traversă.

Datorită motivelor sus-menționate și pentru simplificarea calculelor, solicitarea șinelor datorită sarcinilor orizontal transversale se ia în calcule prin sporirea coeficientului dinamic.

### 3.6.4. Eforturi în șină datorită forțelor orizontale longitudinale

Forțele orizontale longitudinale cauzate de materialul rulant în mișcare sunt forța de tracțiune ( $F_t$ ) și forța de frânare ( $F_f$ ). Acestea produc în șine eforturi de compresiune și de întindere care au valori relativ mici și ca atare pot fi neglijate. Câteva diagrame de eforturi în șină din forțe orizontal longitudinale sunt prezentate în figurile 3.16., 3.17 și 3.18.

Când rezistențele prinderii șinei de traverse sau cele ale prismeii căii la deplasarea căii în lung ( $p$ ) sunt mari, lungimea  $l$  se extinde numai pe lungimea unei distanțe dintre traverse (fig. 3.16). Dacă rezistențele ( $p$ ) sunt mici (fig. 3.17. și fig. 3.18) solicitările se cumulează în lungul șinei.

Eforturile orizontale longitudinale datorită variației temperaturii în șine sunt foarte importante, în special în cazul căii fără joante. În zona centrală a CFJ forța de compresiune sau de întindere datorită creșterii sau diminuării temperaturii șinei față de temperatura de fixare produce eforturi unitare:

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.82)$$



unde:

- $\alpha$  este coeficientul de dilatare termică a oțelului din șine ( $1,15 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
  - $E$  - modulul de elasticitate al oțelului ( $2,1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ );
  - $\Delta t$  - variația temperaturii șinei ( $^\circ\text{C}$ ).
- Se observă că:

$$\sigma_{max} = \alpha \cdot E \cdot \Delta t_{max} \quad (3.83)$$

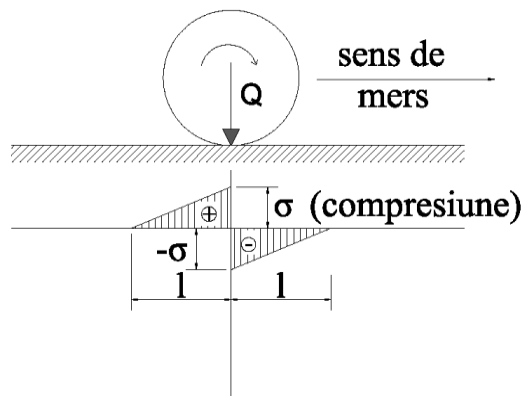


Fig. 3.16. Eforturi din frânare dezvoltată de o roată

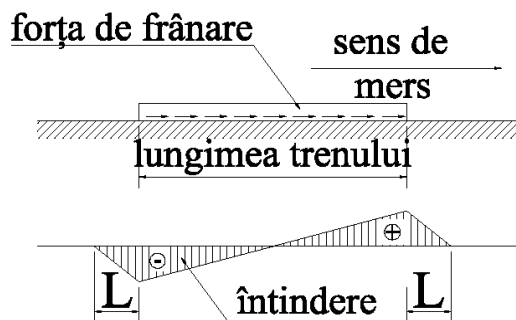


Fig. 3.17. Eforturi din frânare dezvoltată de un tren când rezistențele  $p$  sunt mici

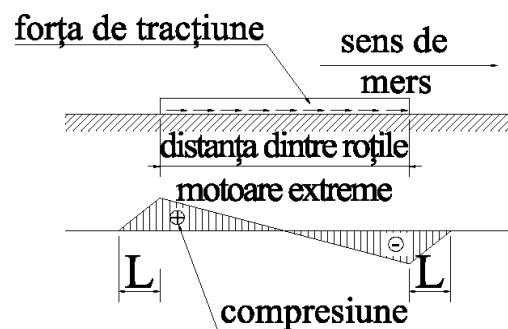


Fig. 3.18. Eforturi din tracțiune dezvoltată de vehicule motor când rezistențele  $p$  sunt mici

Valorile  $\sigma_{max}$  pot fi de 1.000 ... 1.300 daN/cm<sup>2</sup>. În cazul căii cu joante respectiv în zonele de respirație a CFJ eforturile din variația temperaturii șinei pot fi sensibil mai mici deoarece dilatarea (contractia) poate fi parțial liberă.

### 3.6.5. Eforturi speciale de încovoiere în șinele de cale ferată

#### 3.6.5.1. Eforturi din îndreptarea sau curbarea șinei

Șinele cu defecte de liniaritate din fabricație, transport sau depozitare trebuie îndreptate. În alte cazuri este necesar curbarea șinelor (realizarea curbelor cu raze mici). În ambele cazuri apar eforturi care depind de caracteristicile șinei ( $I_y$ ,  $W_z$ ,  $l$ ) și de curbura ( $\frac{1}{\rho}$  sau săgeată  $f$ ). Calculul eforturilor unitare din curbarea sau îndreptarea șinelor se face astfel:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \left| -\frac{M}{E \cdot I} \right| &\Rightarrow M = \frac{E \cdot I}{\rho} = E \cdot I \cdot \frac{8f}{l^2} \Rightarrow \\ \Rightarrow \sigma = \frac{8f \cdot E \cdot I}{l^2 \cdot W} = \frac{8}{l^2} \cdot \frac{l^2}{8R} \cdot \frac{E \cdot I}{W} &\Rightarrow \sigma = \frac{E \cdot I}{R \cdot W} \end{aligned} \quad (3.84)$$

De exemplu pentru încovoierea unei șine 49 după axa y-y pentru  $R = 250$  m, șina având  $l = 25$  m,  $I_y = 320$  cm<sup>4</sup>,  $W_y = 51$  cm<sup>3</sup>, rezultă:

$$\sigma = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 320}{25.000 \cdot 51} \cong 527 \quad [ \text{daN/cm}^2 ] \quad (3.85)$$

#### 3.6.5.2. Eforturi cauzate de neregularitățile existente la cale sau la materialul rulant

Aceste tensiuni se iau în considerare prin intermediul coeficientului dinamic  $\rho$ .

#### 3.6.5.3. Eforturi datorită aplicării excentrice a forțelor verticale

Acțiunea excentrică a forțelor verticale produce încovoiere suplimentară în șine și o torsiune. Nu sunt determinate pentru stabilirea capacității portante a șinei și, ca atare, nu se iau în considerare în calcule.

#### 3.6.5.4. Eforturi datorită presiunii de contact dintre șină și roată

Sarcina  $Q$  se transmite prin bandajul roții, considerat de formă cilindrică, suprafeței de rulare a șinei, considerată și ea cilindrică. La contactul roată-șină se formează o suprafață eliptică ale cărei dimensiuni depind de raza de rotunjire a ciupercii șinei ( $r$ ), raza roții ( $R$ ), de modulele de elasticitate ale oțelurilor din șine și din bandajele roților. Presiunea maximă locală ( $\sigma_{maxl}$ ) se poate calcula cu relații empirice de forma:

$$\sigma_{maxl} = 178 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)^2} \cdot Q \quad [ \text{daN/cm}^2 ] \quad (3.86)$$

unde raza R și r sunt date în [ m ]. Pentru R = 0,5 m, r = 0,3 m și Q = 10.000 daN rezultă  $\sigma_{maxl} = 11.700 \text{ daN/cm}^2$ , adică o valoare extrem de mare. După un timp de circulație, suprafața ciupercii șinei se aplatizează (r crește),  $\sigma_{maxl}$  scade și se poate determina cu relația lui Eisenmann:

$$\sigma_{maxl} = 1380 \cdot \sqrt{\frac{Q[ \text{daN} ]}{R[ \text{mm} ]}} \quad [ \text{daN/cm}^2 ] \quad (3.87)$$

Datorită acestei presiuni extrem de mari cu timpul se produce ecruisarea șinei în zona de rulare, adică acoperirea cu o crustă dintr-un material mai dens; se mărește duritatea, rezistența și anizotropia dar se micșorează reliefa și rezistența la coroziune din partea superioară a ciupercii șinei. În fig. 3.19 este prezentată repartizarea tensiunilor de întindere prin izobare.

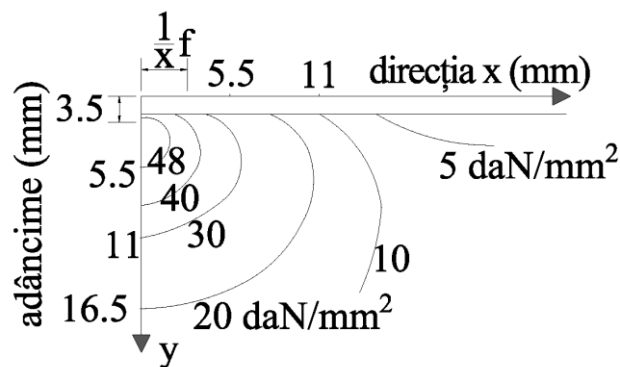


Fig. 3.19. Izobarele la presiunea de contact

Deși presiunea de contact este foarte mare, nu se produce distrugerea șinei deoarece volumul de material solicitat intens este foarte mic și este înconjurat de o cantitate mare de material puțin solicitat.

Presiunea de contact intervine în procesul de oboseală a șinei.

### 3.6.6. Dimensionarea șinei de cale ferată

Din cele prezentate rezultă că șina este supusă la următoarele solicitări:

- încovoiere din sarcini verticale statice:
  - $M = 150.000 \dots 200.000 \text{ daNcm};$
  - $W_x = 200 \dots 350 \text{ cm}^3;$
  - $\sigma_1 = M_{max}/W;$
- supraîncărcare datorită efectului dinamic:
  - $\sigma_2 = (\rho - 1)\sigma_1 \cong 2\sigma_1;$
  - $\sigma_1 + \sigma_2 = \rho\sigma_1 \cong 1000 \dots 1500 \text{ daN/cm}^2;$

- solicitări datorită forțelor orizontale transversale (în special în curbe):  
 $\sigma_3 \cong 1500 \text{ daN/cm}^2$ ;  
 $W_y \cong 0,2W_x$ ;
- tensiuni din forțe orizontale longitudinale (frânare, accelerare, forță de tracțiune, variații de temperatură):  
 $\sigma_4 \cong 1000 \dots 1300 \text{ daN/cm}^2$ ;
- solicitări suplimentare apărute în condiții speciale (neregularitățile geometriei căii, suprafețe plane pe bandaj, îndreptarea sau curbarea șinelor etc.) care în situații defavorabile pot produce:  
 $\sigma_5 \cong 1200 \dots 1500 \text{ daN/cm}^2$ ;
- eforturi datorită presiunii de contact roată-șină, care nu se iau în dimensionarea șinei, dar devin foarte importante în procesul de oboseală a șinei;
- eforturi suplimentare (cauzate în principal de uzura șinelor care duce la micșorarea ariei secțiunii transversale a șinei cu până la 15% și a momentului de inerție cu până la 22%).

Se observă că suma eforturilor unitare pentru o șină uzată (chiar nouă) depășește limita de curgere a oțelului. Practica demonstrează că șinele rezistă tuturor solicitărilor din exploatare, iar eventuala rupere a lor se produce doar când în structura lor există defecte și/sau prin oboseala materialului în urma solicitărilor repetate. Această realitate se poate explica astfel:

- tensiunile  $\sigma_3$  și  $\sigma_4$  apar foarte rar la valoarea lor maximă;
- tensiunea  $\sigma_5$  poate fi inclusă în supraîncărcarea dinamică ( $\sigma_2$ );
- suprapunerea tuturor tensiunilor enumerate reprezintă un caz extrem, care, probabil, nu se produce niciodată în realitate;
- suprapunerea tensiunilor se referă la o singură fibră extremă din secțiunea transversală a șinei (una din marginile tălpii șinei);
- din cauza vitezei materialului rulant durata de acțiune a tensiunii este extrem de scurtă.

Cu toate aceste explicații șinele (în special cele ale c.f.j.) sunt foarte mult solícitate, de aceea se tinde spre rezistențe sporite ale șinelor, spre verificare atentă a șinelor înainte de montare, cât și în exploatare (pentru a preveni eventualele defecte în structura lor), respectiv spre limitarea uzurilor admise.

Practic se determină eforturile din încovoierea șinei din solicitări dinamice și se compară cu eforturile unitare admise ( $\sigma_a$ ):

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \rho \frac{M_{max}}{W_x} \leq \sigma_a$$

Pentru a ține seama de uzura șinei ( $\sigma_7$ ) sau se lucrează cu  $W_u = W_x \text{ uzat} = 0,8W_x$  sau efortul unitar sporește cu  $\sigma_7 = 0,25\sigma = 0,25(\sigma_1 + \sigma_2)$ , sau se micșorează efortul unitar admis cu 20% și se obține:

$$\sigma_{ef} = \sigma_1 + \sigma_2 = \rho \frac{M_{max}}{W_u} \leq \sigma_a \quad (3.88)$$

sau

$$\sigma_{ef} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_7 = 1,25(\sigma_1 + \sigma_2) = 1,25\rho \frac{M_{max}}{W_x} \leq \sigma_a \quad (3.89)$$

sau

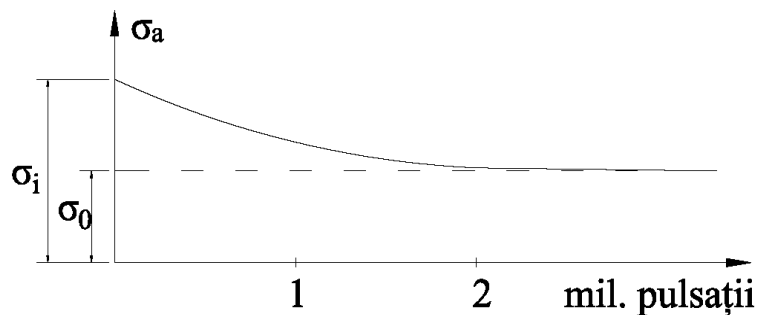
$$\sigma_{ef} = \sigma_1 + \sigma_2 = \rho \frac{M_{max}}{W_x} \leq 0,86\sigma_a \quad (3.90)$$

În cazul unor calcule mai pretențioase, mai exacte, ar trebui luate în considerare eforturile unitare din variații de temperatură ( $\sigma_4$ ), iar rezistența la oboseală a materialului ar trebui revizuită astfel încât în calcule să fie folosite valori cât mai aproape de realitate. Se știe că  $\sigma_a$  scade în timp din cauza creșterii numărului de solicitări de la o valoare inițială ( $\sigma_i$ ) la o valoare finală valabilă pentru materialul oboșit ( $\sigma_0$ ), așa cum apare în figura 3.20.

După unii cercetători [ ] rezultă că cca 1/3 din capacitatea portantă a șinei este consumată pentru prelucrarea solicitărilor la încovoiere ( $\sigma_1 + \sigma_2$ ), cca 1/3 pentru preluarea solicitărilor accidentale ( $\sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5$ ), iar cca 1/3 este rezervată preluării solicitărilor  $\sigma_6$  și  $\sigma_7$  (presiune de contact, uzură, oboseală). Astfel se pot utiliza relațiile de dimensionare și rezistențele admise dar considerând un moment ( $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$  sau  $\sigma_5$ ), ceea ce duce la dublarea (aproximativă) a eforturilor unitare  $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_7$ . Rezultă că în calcule se va putea utiliza una din relațiile de mai jos:

$$2(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_7) \leq \sigma_a \quad (3.91)$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_7 \leq 0,5\sigma_a \quad (3.92)$$



**Fig.3.20.** Variația  $\sigma_a$  în timp

Pentru ușurarea calculelor au fost realizate grafice cu care se poate obține relativ ușor înălțimea aproximativă a șinei, momentul de inerție sau greutatea șinei noi în funcție de sarcina pe osie.

Luând în considerare efectele presiunii de contact, uzura șinei și oboseala materialului, administrațiile feroviare reglementează folosirea diferitelor tipuri de șină în funcție de intensitatea traficului. De exemplu, la modernizarea căilor ferate pe culoarele de transport IV și IX a fost impusă utilizarea șinei tip 60 UIC.

### 3.7. Calculul traverselor de cale ferată

Traversele din lemn sunt utilizate de aproape două secole. În toată această perioadă nu a fost necesară dimensionarea traverselor din lemn deoarece practica a demonstrat că ele rezistă în exploatare în condiții foarte bune. Calculul traverselor a devenit necesară odată cu apariția traversei din beton care poate fi considerată o structură inginerescă.

### 3.7.1. Verificarea traverselor din lemn

În unele cazuri devine necesară verificarea traverselor din lemn. Aceasta se face luând în considerare următoarele:

- eforturile din încovoiere;
- solicitarea la strivire (presiunile pe suprafața de contact cu placa metalică suport);
- presiunile transmise stratului de piatră spartă;
- unele condiții constructive (tipul de prindere a șinelor, lungimea tirfoanelor, conlucrarea traversă-prisma căii, dimensiunile traversei etc.).

Momentul încovoietor maxim apare în dreptul șinei și se poate calcula:

- cu metode aproximative, considerând traversa rigidă (fig. 3.21);
- cu metode mai exacte, considerând traversa elastică (fig. 3.22).

Cea mai defavorabilă ipoteză în metoda aproximativă este prezentată în figura 3.23 unde lungimea  $2u$  sub fiecare șină reprezintă zonele de burare, iar forțele exterioare  $2Q'$  reprezintă sarcina care revine unei traverse, unde  $Q'$  este  $(0,6 \dots 0,8)Q$ ,  $Q$  fiind sarcina pe roată. În calcule se acceptă:  $Q'=0,8Q$ .

$$M_{max} = \frac{Q' \cdot u}{4} \text{ [daNcm]} \quad (3.93)$$

Se apreciază că  $u = 0,4l$  și rezultă:

$$M_{max} = \frac{0,8Q \cdot 0,4l}{4} = 0,08Ql \text{ [daNcm]} \quad (3.94)$$

În realitate momentul maxim se reduce cu cca 30% din cauza repartizării sarcinii  $Q$  pe o lungime de 15...30 cm:

$$M'_{max} = 0,7M_{max}$$

Se determină efortul unitar în traversă ținând seama de efectul dinamic:

$$\sigma = \frac{\rho M'_{max}}{W_t} \leq \sigma_{at} \Rightarrow W_t \geq \rho \frac{M'_{max}}{\sigma_{at}} \quad (3.95)$$

unde:

- $W_t$  este modulul de rezistență a secțiunii transversale a traversei [ $\text{cm}^3$ ];
- $\sigma_{at}$  – rezistența admisă a lemnului [ $\text{daN/cm}^2$ ].

Momentele încovoietoare se pot calcula mai exact în ipoteza rezemării elastice a traversei, similar cu calculul șinei. Calculele sunt ceva mai complicate deoarece traversa are lungimea finită spre deosebire de șină considerată de lungime infinită.

În cazul traverselor din lemn (în special ale celor din esențe moi) trebuie făcută verificarea privitoare la strivirea materialului lemnos de sub șină:

$$p = \rho \frac{Q'}{a \cdot b} \leq p_a \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (3.96)$$

unde:

- $a$  și  $b$  sunt dimensiunile în plan ale plăcii metalice suport [cm];

- $p_a$  – presiunea maximă admisă la suprafața traversei sub talpa șinei [daN/cm<sup>2</sup>]adică rezistența admisă la strivire a materialului din care este confecționată traversa.

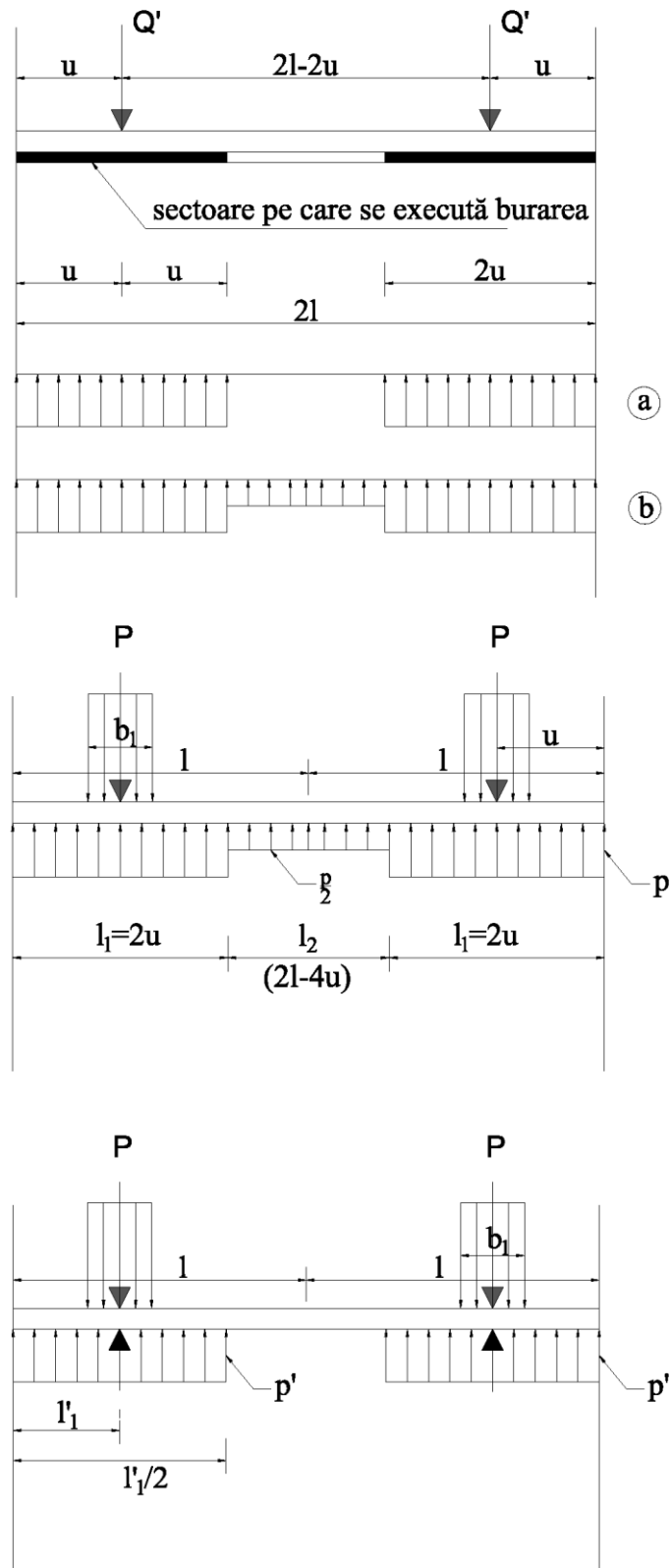


Fig. 3.21. Schema de calcul pentru metoda aproximativă

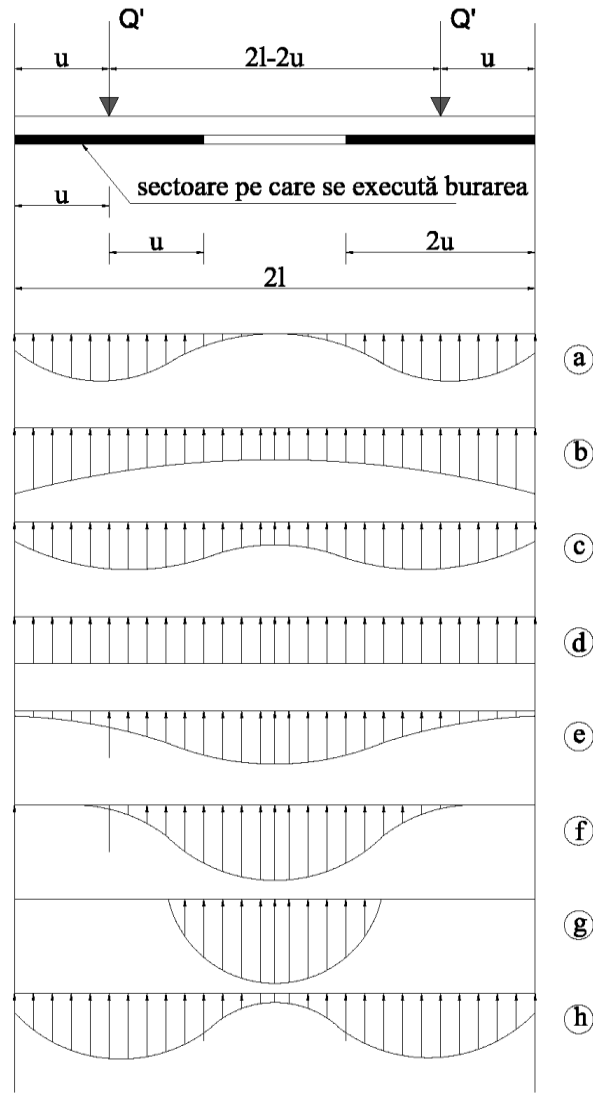


Fig. 3.22. Schema de calcul pentru metoda mai exactă

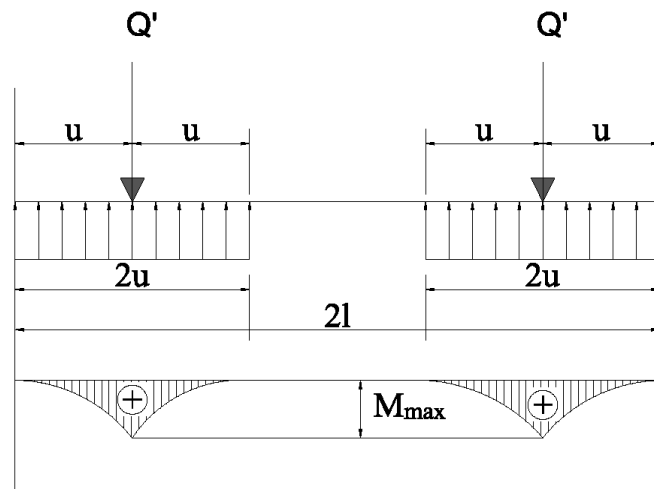


Fig. 3.23. Schema de calcul în ipoteza cea mai defavorabilă



### **3.7.2. Calculul traverselor din beton armat precomprimat**

Traversele din beton armat precomprimat au forme și dimensiuni standardizate, dar des apa tipuri noi de traverse normale și speciale, care trebuie dimensionate.

În cadrul calculului unei traverse din beton trebuie rezolvate probleme legate de stabilirea solicitărilor verticale și orizontale, statice și dinamice care acționează asupra traversei, calculul eforturilor unitare și ale deformațiilor produse de aceste solicitări, repartizarea acestora, verificarea rezistențelor efective în beton și în armătură, verificarea la fisurare și la rupere etc.

Este aproape imposibil a se rezolva corect și exact toate aceste probleme deoarece o mare parte din parametri care intră în calcule sunt greu de cuantificat, au valori incerte. Chiar și determinarea solicitării verticale care revine unei traverse are mai multe metode de rezolvare (toate acceptate), deci la fel de multe soluții.

Din acest motiv formulele de calcul sunt acoperitoare și multe din ipotezele de calcul sunt simplificatoare.

În această teză am considerat că este util să prezint dimensionarea unei traverse din beton armat precomprimat pentru prinderea elastică, așa cum a fost aceasta rezolvată la solicitarea beneficiarului PREBET AIUD.

### **3.7.3. Traversa din beton precomprimat pentru prinderea elastică**

#### **3.7.3.1 Generalități**

Prezentul breviar de calcul se referă la dimensionarea traversei din beton precomprimat pentru prinderea elastică, traversă executată de PREBET AIUD după tehnologia proprie. În calculul traversei s-a ținut seama de datele tehnice furnizate de firmă privind tehnologia acesteia, precum și de următoarele documente de referință:

- STAS 3220-89 „Poduri de cale ferată. Convoaie de calcul”
- STAS 10107/0-90 “Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton, beton armat și beton precomprimat”
- Instrucția 314 „Instrucția de norme și toleranțe pentru construcția și întreținerea căii. Linii cu ecartament normal”
- NE012-99 “Cod de bună practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat”
- EUROCODE 1 . Partea 3. Bazele proiectării și acțiuni asupra structurilor.

#### **3.7.3.2 Domeniu de utilizare**

Traversele vor fi utilizate pe linii cf cu următoarele caracteristici:

- Linii cu ecartament normal în aliniament și curbe cu  $R > 250$  m;
- Sarcina maximă pe osie 25 t;
- Viteza maximă de circulație 250 km/h;
- Șina tip UIC60; 65R; 49; UIC54E
- Înclinarea șinelor 1:20;
- Distanța între axele traverselor 55-65 cm;
- Prisma căii din piatră spartă.

### 3.7.3.3 Specificații de materiale

**Betonul**- clasa C 50/60 (SR EN 206... 10107/0-90) conform NE012/2007.

Rezistența la compresiune la 28 zile  $R_b > 600 \text{ daN/cm}^2$   
 Rezistența minimă la precomprimare  $R_{pr} > 400 \text{ daN/cm}^2$   
 Rezistența de calcul la întindere  $R_t = 18,5 \text{ daN/cm}^2$   
 Rezistența de calcul la compresiune  $R_c = 316 \text{ daN/cm}^2$   
 Modul de elasticitate  $E_b = 400000 \text{ daN/cm}^2$

**Armătura** – cu diametrul nominal  $d = 7,5 \text{ mm}$  ( EN 10138-3:2011) cu caracteristicile impuse de standard:

Rezistența caracteristică  $R_{pk} = 17700 \text{ daN/cm}^2$   
 Rezistența de calcul  $R_p = 14200 \text{ daN/cm}^2$   
 Modulul de elasticitate al armăturii  $E_p = 2000000 \text{ daN/cm}^2$

### 3.7.3.4 Suprastructura căii

**Șina – caracteristici**

Tabelul 3.3. Caracteristicile șinelor grele

	49	54E	TIP UIC60	Tip 65R
Masa [kg/m]	49,43	53,81	60	66,64
Aria secțiunii transversale[mm <sup>2</sup> ]	6297	6855	7690	8256
Moment de inerție [mm <sup>4</sup> ] <sub>x</sub>	1,819 E10 <sup>6</sup>	2,308 E10 <sup>6</sup>	3,055 E10 <sup>6</sup>	3,548 E10 <sup>6</sup>

### 3.7.3.5 Determinarea încărcărilor

#### 3.7.3.5.1. Ipoteze de rezemare

Rezemare numai în zona blocheților (Fig. 3.24)

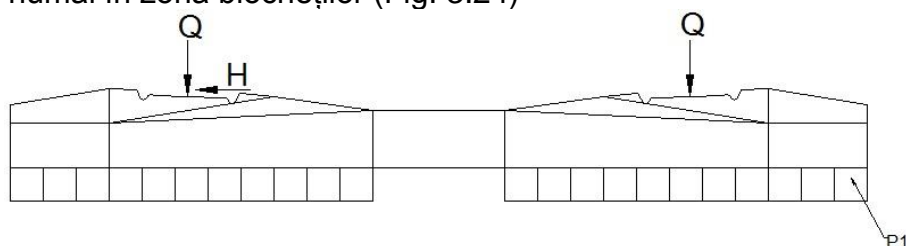


Fig. 3.24. Rezemare în zona blocheților.

Rezemare pe blocheți și parțial pe mijlocul traversei (Fig. 3.25)

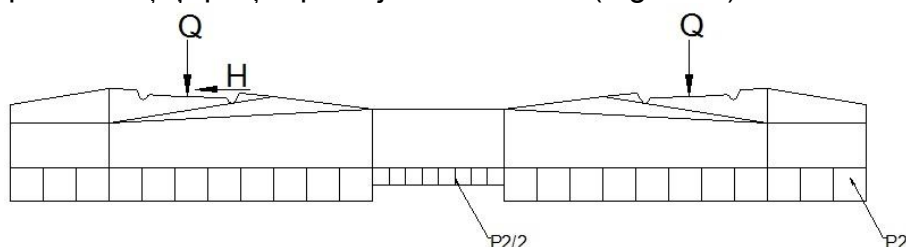
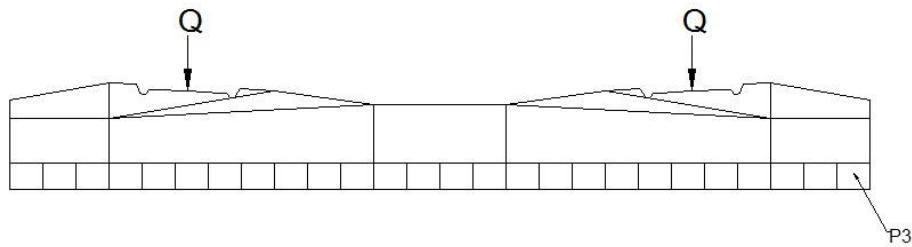


Fig. 3.25. Rezemare pe blocheți și parțial pe mijlocul traversei.

Rezemare uniformă pe toată talpa traversei (Fig. 3.26)



**Fig. 3.26.** Rezemare uniformă pe toată talpa traversei

### 3.7.3.5.2. Ipoteze de încărcare și calculul solicitărilor

Traversele din lemn utilizate de aproape două secole nu necesită dimensionare. Experiența a demonstrat că ele corespund solicitărilor la care sunt supuse.

În cazul traverselor din beton armat se presupune că forma, dimensiunile, armarea și caracteristicile materialelor sunt date, urmând a se face verificarea traverselor. Pentru aceasta se vor determina solicitările de calcul (forțe și momente încovoietoare), solicitările limită, acestea se compară și se determină rezistența traversei. La sfârșit se poate face verificarea traversei la forțe tăietoare, respectiv la presiuni transmise stratului de piatră spartă.

### 3.7.3.5.3. Determinarea solicitărilor de calcul

Forța verticală ( $Q$ ) transmisă traversei de șină se poate determina cu relația :

$$Q = \frac{Q_1 \cdot d}{2L} (1 + t\bar{s}) \quad (3.97)$$

unde:

- $Q_1$  este sarcina statică pe roată;
- $d$  – distanța dintre traverse;
- $L$  – lungimea elastică;
- $t$  – coeficient care depinde de probabilitatea ca solicitarea de calcul să nu depășească solicitarea teoretică;
- $\bar{s}$  - împrăștierea valorilor măsurate ale solicitărilor față de valoarea medie.

În calcule vom considera:

- $Q_1 = 12,5 \text{ tf} = 12500 \text{ daN} = 125000 \text{ N}$ ;
- $a = 50 \dots 65 \text{ cm} = 500 \dots 650 \text{ mm}$ ;

$$L = \sqrt[4]{\frac{4E I_x}{U}} \quad [\text{cm}]$$

unde:

- $E$  este modulul de elasticitate al șinei ( $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ );
- $I_x$  – momentul de inerție după axa x-x [ $\text{cm}^4$ ];
- $U$  – modulul de deformație al patului (modulul căii) [ $\text{daN/cm}^2$ ];  
Pentru traverse din beton  $U = 1200 \dots 6000 \text{ daN/cm}^2$ ;
- $t = 1$  pentru o probabilitate de 0,683;
- $t = 2 \dots \dots \dots 0,955$ ;

- $t = 3 \dots\dots\dots 0,997$ ;
- $s = 0,1\varphi$  pentru o suprastructură în stare foarte bună;
  - $s = 0,2 \varphi \dots\dots\dots$  bună;
  - $s = 0,3 \varphi \dots\dots\dots$  rea;
  - $\varphi = 1,0 + \frac{V-60}{140}$  dacă  $V = 60 \dots 200$  km/oră;
  - $\varphi = 1$  dacă  $V < 60$  km/oră.
- Va rezulta solicitarea de calcul maximă posibilă:

$$Q_{\max} = \frac{Q_{1\max} \cdot d_{\max}}{2L_{\min}} (1 + t_{\max} \cdot \bar{s}_{\max}) \quad (3.98)$$

$$L_{\min} = \sqrt[4]{\frac{4E I_x}{U_{\max}}} \quad (3.99)$$

Solicitarea maximă de calcul ( $Q_{\max}$ ) este echilibrată de reacțiunile la talpa traversei care au o distribuție nesigură. În calcule se consideră că reacțiunile (presiunile pe talpa traversei) sunt uniform repartizate pe suprafețele pe care acestea se transmit prismeii căii. Într-o altă ipoteză de calcul se consideră că repartizarea triunghiulară a acestor presiuni este mai apropiată celei reale care are formă de clopot. Dacă se presupune că presiunile nu sunt nule la extremitățile suprafețelor de contact transversă – strat de piatră spartă, se poate considera fără a greși că realitatea este între cele două ipoteze simplificatoare de calcul.

### 3.7.3.5.4. Solicitări în dreptul șinei

Dacă presiunile sunt uniform distribuite (Fig. 3.27.) se obțin următoarele relații de calcul:

$$p = \frac{Q}{a+b} \quad (3.100)$$

$$M_{S1} = \frac{Q}{2} \left( \frac{a^2}{a+b} - \frac{d}{4} \right) \quad (3.101)$$

$$T_{\max1} = p \left( a - \frac{d}{2} \right) \quad (3.102)$$

În relațiile de mai sus  $d$  reprezintă lățimea plăcii metalice suport sau, (în cazul prinderilor fără placă metalică), lățimea tălpii șinei, iar  $t_0$  este distanța între axele șinelor.

În cazul presiunilor cu variație liniară (Fig. 3.28) se obțin relațiile de calcul

$$p_s = \frac{2Q}{a+b} = 2p \quad (3.103)$$

$$Q_a = \frac{aQ}{a+b}; \quad Q_b = \frac{bQ}{a+b} \quad (3.104)$$

$$M_{S2} = Q \left[ \frac{a^2}{3(a+b)} - \frac{d}{8} \right] \quad (3.105)$$

$$T_{\max2} = \frac{p_s}{2a} \left( a - \frac{d}{2} \right)^2 - \frac{p}{a} \left( a - \frac{d}{2} \right)^2 \quad (3.106)$$

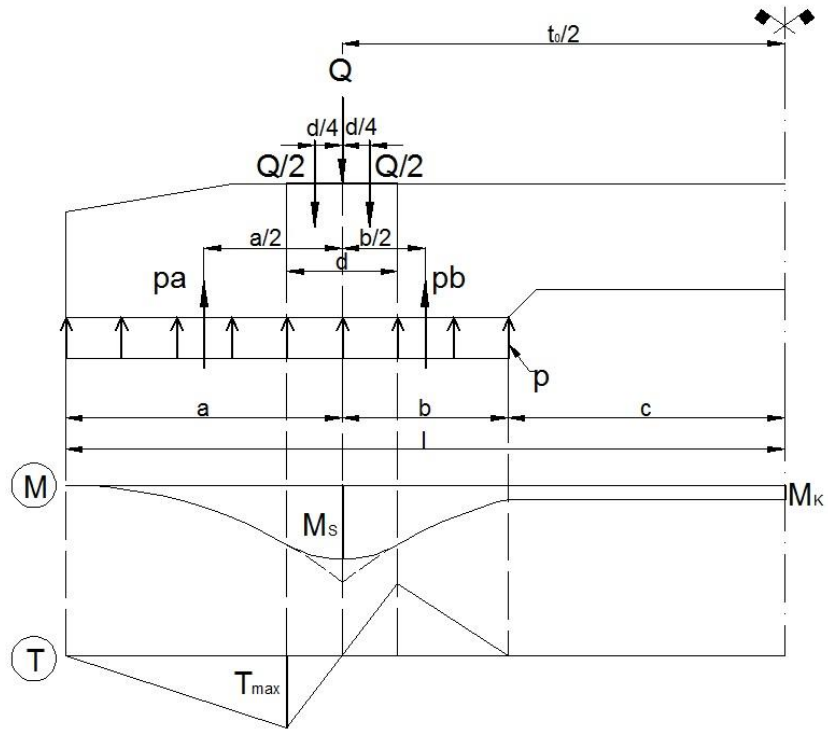


Fig. 3.27. Presiuni uniforme distribuite în zona blocheților

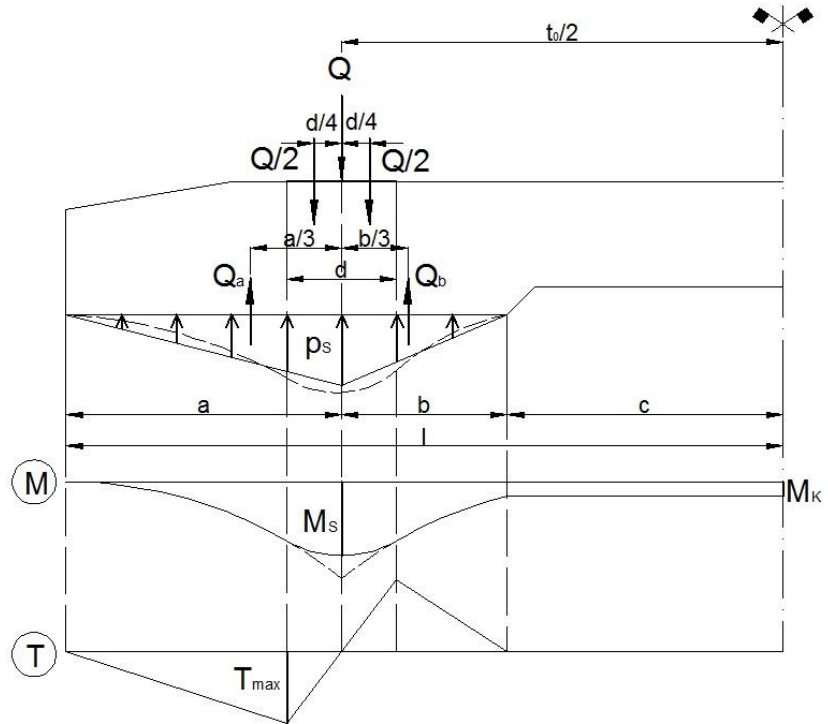


Fig. 3.28. Variația liniară a presiunilor în zona blocheților

Dacă presiunile au variație în formă de clopot, relațiile de calcul devin:

$$M_{S3} = \frac{Q}{2} \left[ \frac{a^2}{2,4(a+b)} - \frac{d}{4} \right] \quad (3.107)$$

$$T_{\max 3} = \frac{1}{2} \left[ p + \frac{p_s}{2a} \left( a - \frac{d}{2} \right) \right] \left( a - \frac{d}{2} \right) \quad (3.108)$$

Momentul încovoiitor de calcul în secțiunea mijlocie a traversei este:

$$M_k = Q \frac{a-b}{2}, \text{ dacă } p = \text{constant în dreptul blocheților} \quad (3.109)$$

$$M_k = Q \frac{a-b}{3}, \text{ dacă } p \text{ variază liniar} \quad (3.110)$$

$$M_k = Q \frac{a-b}{2,4}, \text{ dacă variația presiunii are formă de clopot} \quad (3.111)$$

În toate cazurile  $M_k < 0$  dacă  $a < b$ ,  $M_k > 0$  dacă  $a > b$  și  $M_k = 0$  dacă  $a = b$ .

### 3.7.3.6. Aplicație pentru traversa T17 specială (șina 60)

Se considera  $a = b = 53,9 \text{ cm} = 539 \text{ mm}$

$$Q_1 = 12500 \text{ daN}$$

$$d = 65 \text{ cm}$$

$$L_{\min} = \sqrt[4]{\frac{4E I_x}{U_{\max}}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2,1 \cdot 1000000 \cdot 3055}{6000}} = 45,5 \text{ cm} = 455 \text{ mm}$$

$$t = 3$$

$$\varphi = 1 + \frac{200-60}{140} = 2 \Rightarrow \bar{s} = 0,3 \cdot 2 = 0,6$$

$$Q_{\max} = \frac{12500 \cdot 65}{2 \cdot 45,5} (1 + 3 \cdot 0,6) = 25000 \text{ daN}$$

$$M_{S1} = \frac{25000}{2} \left( \frac{53,9^2}{2 \cdot 53,9} - \frac{15}{4} \right) = 290000 \text{ daNcm}$$

$$p = \frac{25000}{2 \cdot 53,9} = 231,9 \text{ daN/cm}$$

$$T_{\max 1} = 231,9 \left( 53,9 - \frac{15}{4} \right) = 11630 \text{ daN}$$

$$M_{S2} = 25000 \left( \frac{53,9^2}{6 \cdot 53,9} - \frac{15}{8} \right) = 177708 \text{ daNcm}$$

$$T_{\max 2} = \frac{231,9}{53,9} \left( 53,9 - \frac{15}{2} \right)^2 = 9263 \text{ daN}$$

$$M_{S3} = \frac{M_{S1} + M_{S2}}{2} = 233854 \text{ daNcm}$$

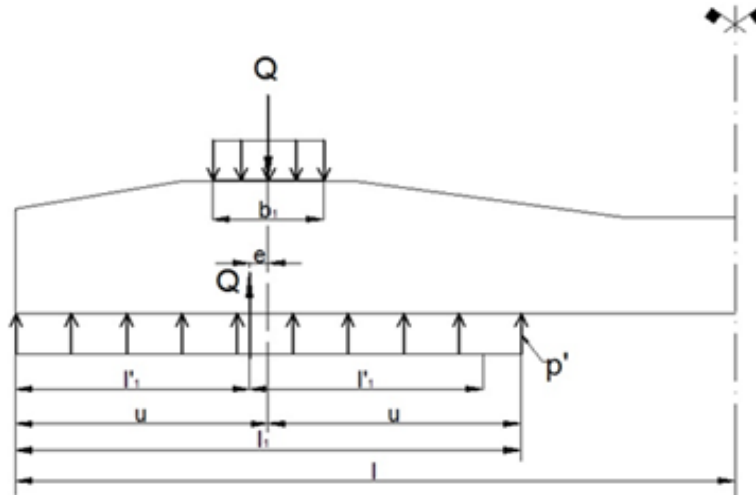
$$T_{\max 3} = \frac{T_{\max 1} + T_{\max 2}}{2} = 10447 \text{ daN}$$

$$a = b \Rightarrow M_{k1} = M_{k2} = M_{k3} = 0$$

### 3.7.3.7. Antedimensionarea traversei

La proiectarea unei traverse noi din beton sau verificarea acesteia printr-o altă metodă se utilizează ipotezele de calcul cunoscute pentru determinarea solicitărilor:

- rezemarea numai în dreptul blocheților, presiunea sub traversă fiind dată de (Fig. 3.29):



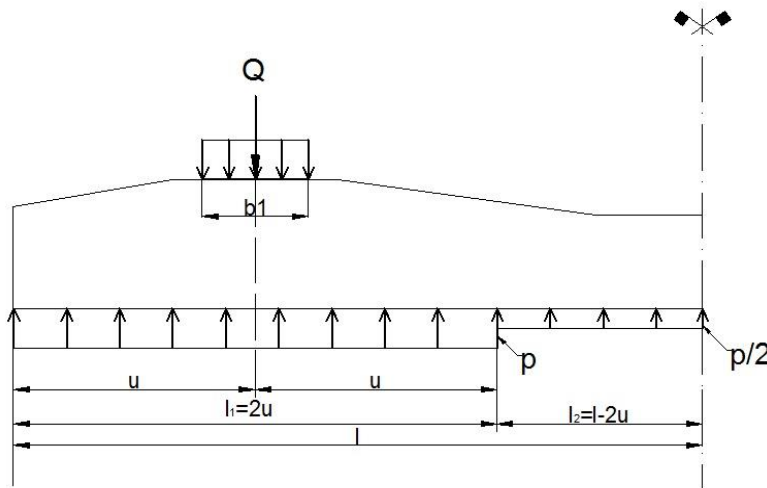
**Fig. 3.29.** Schema de calcul pentru antedimensionarea traversei când rezemarea se face doar în zona blocheților

$$p' = \frac{2Q}{2l_1'} = \frac{Q}{l_1'} \quad (3.112)$$

iar momentul încovoietor sub șină :

$$M_+ = \frac{1}{2} p' \left( \frac{l_1}{2} - e \right)^2 - \frac{Q}{2} \cdot \frac{b_1}{4} = \frac{1}{8} [p'(l_1 - 2e)^2 - Q \cdot b_1] \quad (3.113)$$

- rezemarea în dreptul blocheților și semirezemarea în partea centrală, caz în care presiunea în dreptul blocheților este (Fig. 3.30):



**Fig. 3.30.** Schema de calcul pentru antedimensionarea traversei semirezemate în zona centrală

$$p = \frac{2Q}{2u+l}, \text{ unde } 2Q = 2 \cdot 2u \cdot p + \frac{p}{2}(2l - 4u) \quad (3.114)$$

iar momentul încovoietor maxim negativ (în secțiunea centrală a traversei) este :

$$M. = \frac{pl^2}{24} + (pu - Q) \cdot (l - u) \quad (3.115)$$

Prima ipoteză de rezemare se folosește pentru verificarea secțiunii din dreptul blocheților, iar ipoteza a doua este acoperitoare pentru momentele negative din câmp. Rezemarea totală pe întreaga lungime a traversei în calcule nu se ia în considerare.

$$Q = \rho \cdot \alpha \cdot Q_1, \text{ unde :} \quad (3.116)$$

- $Q_1$  este sarcina statică pe roată;
- $\rho$  - coeficientul dinamic ( $\rho = 1.6 \dots 1.8$ );
- $\alpha$  - coeficientul de repartiție în lung care ține seama de faptul ca sarcina de la roată nu se transmite integral traversei aflate sub roată ( $\alpha = 0,5 \dots 0,8$ ).

Rezultă:

$$Q_{\max} = 1,8 \cdot 0,8 \cdot Q_1 = 1,44 Q_1$$

$$e = \frac{l_1}{30} \dots \frac{l_1}{25} \text{ și } l_1 < l; \quad l_1 = \frac{l}{2} - e = u - e$$

### 3.7.3.8. Aplicație pentru traversa T17 specială (șina 60)

$$Q = 1,44 \cdot 12500 = 18000 \text{ daN}$$

$$u = 55 \text{ cm} = 550 \text{ mm} \Rightarrow l_1 = 2u = 110 \text{ cm} = 1100 \text{ mm}$$

$$b_1 = 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$$

$$e = \frac{110}{30} \dots \frac{110}{25} = 3,67 \dots 4,4 \text{ cm} = 37 \dots 44 \text{ mm} \Rightarrow e = 44 \text{ mm}$$

$$p' = \frac{Q}{2l_1'} = \frac{18000}{2 \cdot 50,6} = 177,9 \text{ daN/cm}$$

$$l_1' = 55 - 4,4 = 50,6 \text{ cm} = 506 \text{ mm}$$

$$M_+ = \frac{1}{8} [177,9 (110 - 8,8)^2 - 18000 \cdot 15] = 193994 \text{ daNcm}$$

$$p = \frac{2 \cdot 18000}{110 + 130} = 150 \text{ daN/cm}$$

$$M. = \frac{150 \cdot 130^2}{4} + (150 \cdot 55 - 18000) (130 - 55) = -97500 \text{ daNcm}$$

### Concluzii privind stabilirea solicitărilor

Comparând valorile maxime obținute cu metodele și ipotezele de calcul prezentate, dimensionarea se va face cu valorile :

$$M_+ = 233854 \text{ daNcm pentru secțiunea din dreptul șinei};$$

$$M. = -97500 \text{ daNcm pentru secțiunea din mijlocul traversei}.$$

### 3.7.3.9. Dimensionarea traversei

#### Materialele utilizate și caracteristicile lor

- Betonul folosit:

Clasa C 50/60 (SR EN 206... 10107/0-90) conform NE 012/2007.

Rezistența la compresiune la 28 zile  $R_b > 600 \text{ daN/cm}^2$

Rezistența minimă la precomprimare  $R_{pr} > 400 \text{ daN/cm}^2$

Rezistența de calcul la întindere  $R_t = 18,5 \text{ daN/cm}^2$

Rezistența de calcul la compresiune  $R_c = 316 \text{ daN/cm}^2$



Modul de elasticitate  $E_b = 400000 \text{ daN/cm}^2$

- armătura pretensionată preîntinsă folosită:

$d = 7,5 \text{ mm}$  (diametru nominal)

$A_p^t = 12 \times 0,3224 = 3,8688 \text{ cm}^2$

$A_{p1} = 3 \times 0,1074665 = 0,3224 \text{ cm}^2$

### **Momente maxime în traversa T17 specială (șină tip 60)**

- Momentul maxim în axul șinei :

$M_{+\max} = 233854 \text{ daNcm}$

- Momentul maxim la mijlocul traversei:

$M_{-\max} = -97500 \text{ daNcm}$

### **Caracteristici geometrice ale secțiunii**

#### a) Secțiunea din axul șinei

- Suprafața secțiunii de beton :  $A_6 = 464,34 \text{ cm}^2$

- Suprafața secțiunii ideale :  $R = 5,263$  (coeficient de echivalență a armăturii):

$A_i = 480,832 \text{ cm}^2$

- Poziția centrului de greutate a secțiunii ideale față de bază:

$Y_b = 11,621 \text{ cm}$

- Poziția centrului de greutate al armăturii pretensionate:

$Y_{ba} = 8,93 \text{ cm}$

- Excentricitatea armăturii pretensionate:

$e = 0,776 \text{ cm}$

- Momentul de inerție al secțiunii ideale:

$I_i = 17167,111 \text{ cm}^4$

- Module de rezistență:

$W_s = 1477,249 \text{ cm}^3$ ;  $W_i = 1773,645 \text{ cm}^3$

#### b) Secțiunea de la mijlocul traversei

- Suprafața secțiunii de beton :  $A_6 = 278,992 \text{ cm}^2$

- Suprafața secțiunii ideale:  $A_{b1} = 340,242 \text{ cm}^2$

- Poziția centrului de greutate al secțiunii ideale față de bază:

$Y_b = 11,862 \text{ cm}$

- Poziția centrului de greutate al armăturii pretensionate :

$Y_{ba} = 8,93 \text{ cm}$

- Excentricitatea armăturii pretensionate :

$$e = 2,932 \text{ cm}$$

- Momentul de inerție al secțiunii ideale:

$$I_i = 10845,664 \text{ cm}^4$$

- Modulul de rezistență:

$$W_s = 1878,013 \text{ cm}^3 \quad W_i = 942,766 \text{ cm}^3$$

### Eforturi unitare în beton și armătură

#### a) Secțiunea din axul șinei

- Eforturi unitare în armătura precomprimată preîntinsă:

Efortul unitar în armătură, în faza inițială:

$$\sigma_{po} = \sigma_{pk} - (\Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_s + \Delta\sigma_t + \Delta\sigma_{ri})$$

unde:

$\sigma_{pk}$  – efortul unitar de control;

$\Delta\sigma_\lambda$  - pierderi de tensiune datorate lunecărilor locale în ancoraje la blocare;

$\Delta\sigma_s$  – pierderi de tensiune datorită efectului întinderii succesive a armăturilor;

$\Delta\sigma_t$  – pierderi de tensiune datorită efectului termic al tratamentului termic;

$\Delta\sigma_{ri}$  - pierderi de tensiune datorită relaxării în fază inițială.

Pentru armătura pretensionată postîntinsă:

Rezistența caracteristică:  $R_{pk} = 17700 \text{ daN/cm}^2$ ;

Rezistența de calcul:  $R_p = 14200 \text{ daN/cm}^2$ ;

Modulul de elasticitate:  $E_p = 2000000 \text{ daN/cm}^2$ ;

Efortul unitar de control  $\sigma_{pk} \leq 0,95 R_p$  :

$$\sigma_{pk} \leq 0,95 \times 14200 = 13490 \text{ daN/cm}^2$$

sau:

$$\sigma_{pk} = R_p = 14200 \text{ daN/cm}^2.$$

- Forța de precomprimare de control :

54000 daN pentru care rezultă  $\sigma_{pk} = 14200 \text{ daN/cm}^2$  și  $\sigma_{po} = 12070,00 \text{ daN/cm}^2$ .

- Efortul unitar în armătură în faza inițială, ținând cont de pierderile de tensiune datorită relaxării ( $\Delta\sigma_r$ ) și a contracției și curgere lentă ( $\Delta\sigma_p$ ):

$$\sigma_{ps} = \sigma_{po} - [(\Delta\sigma_r - \Delta\sigma_{ri}) + \Delta\sigma_p]$$

$$\sigma_{po} = 10562,72 \text{ daN/cm}^2.$$

- Efortul unitar în armătura pretensionată, în faza finală respectă condiția :  $0,50 R_p \leq \sigma_{po} \leq 0,85 R_p$

$$0,50 \times 14200 = 7100 \text{ daN/cm}^2 \leq \sigma_{po} \leq 0,85 R_p = 0,85 \times 14200 = 12070 \text{ daN/cm}^2.$$

- Forțe de precomprimare în faza finală:

$$N_0 = A_p \times \sigma_{po} = 3,8688 \times 12070 = 46696,42 \text{ daN}$$

în care :

$$A_p = 3,8688 \text{ cm}^2 \text{ – secțiunea armăturii pretensionate.}$$

• Eforturile în beton :

a) Din precomprimare :

$$\sigma_{bi} = + 100,46 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{bs} = + 56,00 \text{ daN/cm}^2$$

b) Din sarcinile de exploatare:

$$\sigma_{bi} = - 76,03 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{bs} = + 87,88 \text{ daN/cm}^2$$

c) Eforturile unitare totale:

$$\sigma_{bti} = + 24,43 \text{ daN/cm}^2 > R_t = -18,5 \text{ daN/cm}^2 \text{ (nu apare efort de întindere)}$$

$$\sigma_{bts} = + 143,88 \text{ daN/cm}^2 < R_c = + 316 \text{ daN/cm}^2.$$

b) Secțiunea de la mijlocul traversei

• Eforturi unitare în armătura pretensionată preîntinsă:

a) Efortul unitar în faza inițială:

$$\sigma_{po} = 13213,17 \text{ daN/cm}^2$$

b) Forța de precomprimare în fază finală:

$$\sigma_{po} = 9444,21 \text{ daN}$$

c) Efortul final respectă condiția:

$$0,5 R_p \leq \sigma_{po} \leq 0,85 R_p$$

• Forța de precomprimare în faza finală :

$$N_o = A_p \times \sigma_{po} = 36379,1 \text{ daN}$$

• Eforturi unitare în beton :

a) din precomprimare:

$$\sigma_{bi} = + 82,68 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{bs} = + 134,2 \text{ daN/cm}^2$$

b) din sarcini de exploatare :

$$\sigma_{bi} = + 94,53 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{bs} = - 106,23 \text{ daN/cm}^2$$

c) Eforturi unitare totale :

$$\sigma_{bti} = + 177,21 \text{ daN/cm}^2 < R_c = +316 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{bts} = + 27,97 \text{ daN/cm}^2 > R_t = -18,5 \text{ daN/cm}^2 \text{ (nu apare efort de întindere)}$$

**Verificarea la starea limită de rezistență**

a) Secțiunea din axul șinei

• Creșterea deformației specifice în armătura pretensionată:

$$\Delta \varepsilon_1 = \frac{h_o - 1,25x}{1,25x} \times \frac{\varepsilon_b}{\Psi} \leq 0,01$$

$$\Delta\varepsilon_1 = \frac{18,3-1,25x}{1,25x} \times \frac{0,003}{0,75} = 0,01$$

$$x = 4,18 \text{ cm}$$

unde:

$\Delta\varepsilon_1$  – creșterea deformației specifice în armătura pretensionată (se limitează la 0,1);

$\Psi = 0,75$  - coeficient care ține seama de conlucrarea betonului cu armătura pe distanța dintre fisuri în starea limită de rezistență;

$\varepsilon_b = 0,003$  - deformația specifică limită de calcul la compresiune din încovoiere;

$x$  – înălțimea zonei comprimate de beton cu distribuția dreptunghiulară de eforturi .

• Deformația limită de calcul a armăturii pretensionate preîntinse ( $\bar{\varepsilon}_1$ ):

$$\bar{\varepsilon}_1 = \bar{\varepsilon}_0 + 0,01$$

$$\bar{\varepsilon}_1 = 0,014181$$

unde:

$\bar{\varepsilon}_0$  – deformația specifică datorită contracției

Verificarea la starea limită de rezistență:

$$M_{cap} = m \times \frac{A_p}{2} (\sigma'_{p1} \times z_{p1} + \sigma'_{p2} \times z_{p2} + \sigma'_{p3} \times z_{p3})$$

unde:

$\sigma'_p$  = efortul unitar în armătură (rând 1, respectiv rând 2 și 3)

$z_p$  = distanța de la armătură la centrul de greutate al zonei comprimate

$$M_{cap} = 0,885 \times 1,284 (14200 \times 16,13 + 7663,17 \times 10,13 + 2835,98 \times 5,33) = 365662,47 \text{ daNcm}$$

$$M_{cap} = 365662,47 \text{ daNcm} > M_{exp} = 233854 \text{ daNcm}$$

b) Secțiunea de la mijlocul traversei

• Creșterea deformației specifice în armătura pretensionată:

$$\Delta\varepsilon_1 = \frac{h_0 - 1,25x}{1,25x} \times \frac{\varepsilon_b}{\Psi} \leq 0,01$$

$$\Delta\varepsilon_1 = \frac{14,3 - 1,25x}{1,25x} \times \frac{0,003}{0,75} = 0,01$$

$$x = 3,27 \text{ cm}$$

• Deformația limită de calcul a armăturii pretensionate :

$$\bar{\varepsilon}_1 = \bar{\varepsilon}_0 + 0,01$$

$$\bar{\varepsilon}_1 = 0,01472$$

- Verificarea la starea limită de rezistență:

$$M_{cap} = m \times \frac{Ap}{2} (\sigma'_{p1} \times Z_{p1} + \sigma'_{p2} \times Z_{p2})$$

$$M_{cap} = 0,885 \times 1,284 (14200 \times 12,65 + 8020,5 \times 6,12) = 228715,5 \text{ daNcm}$$

$$M_{cap} = 228715,5 \text{ daNcm} > M_{expl} = 97500 \text{ daNcm}$$

### Verificarea la starea limită de fisurare. Verificarea închiderii fisurilor normale

- a) Secțiunea din axul șinei

- Moment de decompresiune:

$$\overline{M}_{(i)}^0 = N_0 (e_{op} + r_s)$$

$$r_s = \frac{w_i}{A_i} = \frac{1879,013}{480,832} = 3,907$$

$$\overline{M}_{(i)}^0 = 46696,42(0,776 + 3,907) = 218679,33 \text{ daNcm}$$

- Efortul unitar în fibra inferioară:

$$\sigma_b = \frac{M_i - M_i^E}{W_i}; \quad M_{(i)}^E = +193994 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{218679,33 - 193994}{1879,013} = +13,14 \text{ daN/cm}^2 > R_t = -18,5 \text{ daN/cm}^2$$

(nu apare efort de întindere)

$$M_{(i)}^E = 193994 \text{ daNcm}$$

- b) Secțiunea de la mijlocul deschiderii

- Moment de decompresiune:

$$\overline{M}_{(s)}^0 = N_0 (e_{op} + r_s)$$

$$r_s = \frac{w_s}{A_i}$$

$$r_s = \frac{909,476}{340,242} = 2,673$$

$$M_{(s)}^0 = 36379,1(2,932 + 2,673) = 302904,85 \text{ daNcm}$$

- Efortul unitar în beton la fibra superioară:

$$\sigma_b = \frac{M_{(s)}^0 - M_{(s)}^E}{W_s}$$

$$\sigma_b = \frac{203904,85 - 97500}{909,476} = +116,996 \text{ daN/cm}^2 > R_t = -18,5 \text{ daN/cm}^2 \text{ (nu apare efort de întindere)}$$

### Verificarea la oboseală

- a) Secțiunea din axul șinei:

- Rezistența la compresiune la oboseală:

$$R_{bo} = m_b \times R_c$$

unde:

$R_c$  = rezistența de calcul la compresiune

$m_b$  = coeficient al condițiilor de lucru

- Fibra superioară:

$$\rho_{bs} = \frac{\sigma_{bmin}}{\sigma_{bmax}} = \frac{56,00}{143,88} = 0,382$$

$$m_b = 0,6 + 0,5 \times 0,382 = 0,795$$

$$R_{bo} = 0,795 \times 265 = 210,57 \text{ daN/cm}^2 > 143,88 \text{ daN/cm}^2.$$

în care :

$\rho_{bs}$  = coeficient de asimetrie

- Fibră inferioară:

$$\sigma_{bi} = +100,46 \text{ daN/cm}^2 < 191,22 \text{ daN/cm}^2$$

b) Secțiunea de la mijlocul traversei:

- Rezistența la compresiune la oboseală:

$$R_{bo} = m_b \times R_c$$

- Fibra superioară:

$$\rho_{bs} = \frac{\sigma_{bmin}}{\sigma_{bmax}} = \frac{27,97}{134,2} = 0,208$$

$$m_b = 0,6 + 0,5 \times 0,208 = 0,704$$

$$R_{bo} = 0,704 \times 265 = 186,6 \text{ daN/cm}^2 > 134,2 \text{ daN/cm}^2 = \sigma_{bmax}$$

- Fibra inferioară:

$$\rho_{bi} = \frac{\sigma_{bmin}}{\sigma_{bmax}} = \frac{82,68}{177,21} = 0,466$$

$$m_b = 0,6 + 0,5 \times 0,466 = 0,833$$

Rezultă:

$$R_{bo} = 0,833 \times 265 = 220,82 \text{ daN/cm}^2 > 177,21 \text{ daN/cm}^2 = \sigma_{bmax}$$

### 3.8. Calcule privind materialul mărunț de cale

#### 3.8.1. Solicitări asupra prinderii șinelor pe traverse

Solicitățile care acționează asupra elementelor prinderii șinei pe traverse sunt prezentate schițat în figura 3.31.

Aceste solicitări rezultă din:

- sarcina verticală pe roată (  $Q$  ) care se transmite parțial prin talpa șinei (  $Q_1$  );
- forța orizontală - transversală (  $H_1$  ) aferentă unei prinderi și care rezultă din forța orizontală-transversală (  $H$  ) transmisă de o roată șinei;
- forța orizontală-longitudinală (  $F$  ) rezultată din variația temperaturii șinei ( dilatare sau contracție ), respectiv din accelerare sau frânare.

Se cunoaște că:

$$Q_1 = \beta Q \quad [ N ] \quad \text{iar} \quad H_1 = \beta H \quad (3.117)$$

unde:  $\beta = 0,3 \dots 0,9$  ( valori stabilite experimental pentru ambele forțe ).

Se poate lua în calcule valoarea  $\beta = 0,6$ .

Prinderea trebuie să oprească posibilitatea răsturnării șinei cauzată de forța orizontală ( $H_1$ ):

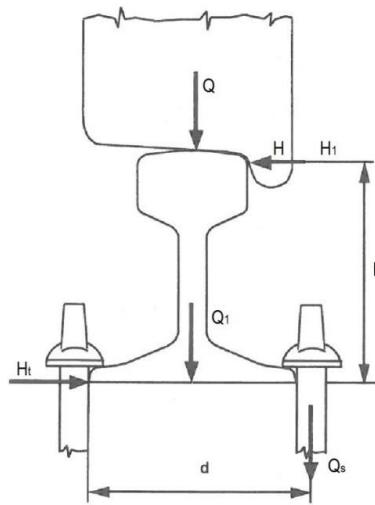
$$H_1 \cdot h = \frac{Q_1 \cdot d}{2} + Q_s \cdot d \quad [ N ] \quad (3.118)$$

unde

- $Q_s$  este forța de fixare ( prindere ) a șinei pe o traversă ( N );
- $Q_1$  - forța verticală transmisă prin talpa șinei pe o traversă ( N );
- $H_1$  - forța orizontală - transversal care revine unei prinderi ( N );
- $h$  - distanța de la talpa șinei până la punctul de contact lateral roată - șină ( mm );
- $D$  - lățimea tălpilor șinei ( mm ).

Rezultă:

$$Q_s = H_1 \cdot \frac{h}{d} - \frac{Q_1}{2} \quad [ N ] \quad (3.119)$$



**Fig. 3.31. Solicitări asupra prinderii**

Se acceptă aproximarea că valoarea coeficientului  $\beta$  este aceeași atât pentru forța verticală, cât și pentru cea orizontală - transversală aferente unei prinderi.

Forța  $H_1$  tinde să producă deplasarea laterală a șinei. Acestei deplasări se opun rezistența dată de elementele de fixare ( $H_t$  care se poate considera forța tăietoare ), respectiv frecarea dintre talpa șinei ( caracterizată prin coeficientul de frecare  $\mu$  ) și traversă:

$$H_t = H_1 - \mu \cdot Q_1 \quad [ N ] \quad (3.120)$$

Forța orizontală – longitudinală ( $F_1$ ) cauzată de variația temperaturii șinei (dilatare sau contracție împiedecată) pentru fiecare fir în parte se calculează cu relația:

$$F_1 = A_1 \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad [ N ] \quad (3.121)$$

Deplasarea în lung a șinei cauzată de forța  $F_1$  este împiedecată ( total sau parțial ) de către rezistența dată de prisma căii ( $p$ ) numai dacă această rezistență

este mai mică decât cea rezultată din fixarea șinei pe traverse (șina se deplasează în lungul căii împreună cu traversa).

Folosind notațiile din figura 3.32 rezultă:

$$F_{1p} \geq \frac{p}{2} \quad [N] \quad (3.122)$$

unde:

- $F_{1p}$  este rezistența dată de fixarea șinei pe traversă;
- $p$  – rezistența dată de prisma căii la deplasarea în lung a unei traverse.

În urma unei încercări experimentale a rezultat că în cazul prisme căii  $p = p_{\max} = 15 \text{ kN}$  rezultând că o prindere trebuie să asigure o rezistență de cel puțin:

$$F_{1P} = \frac{Q_s}{2} \cdot \mu_1 \cdot 2 + Q_s \cdot \mu_2 = Q_s (\mu_1 + \mu_2) \geq 7500 \quad [N] \quad (3.123)$$

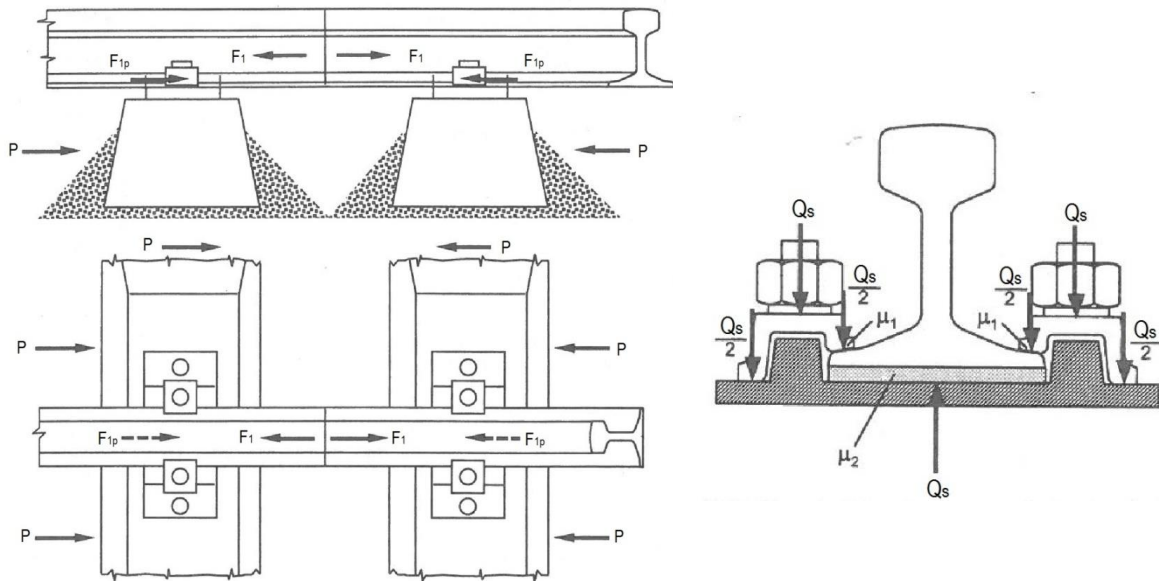


Fig. 3.32. Rezistența dată de prindere la deplasarea în lung a șinei

### 3.8.2. Stabilirea solicitărilor pentru joante

Joantele prin construcția lor permit deplasarea în lung a capetelor șinelor. În această situație forțele orizontale se vor transmite în lung prin joantă doar prin frecările dintre eclise și șine ( admitând că rostul  $\lambda = 0$  în cazul dilatării ). Perechea de eclise este legată de capetele șinelor prin 4 ( rar 6 sau 2 ) șuruburi orizontale. Contactul eclisă – șină se produce doar la umerii ciupercii șinei, respectiv la partea superioară a tălpii șinei. Rezultă că eclisele nu sunt înțepenite între ciuperca și talpa șinelor astfel că în cazul solicitării (  $Q$  ) transmise de roată în dreptul rostului de dilatație apar solicitări (  $Q_e$  ) între eclise și șine așa cum sunt ele prezentate de figura 3.33.

Cu notațiile din figura 3.33. se pot scrie relațiile:

$$Q_e = \frac{\left[ \left( 1 + \frac{a}{2b} \right) \cdot \gamma + \left( 2 + \frac{3a}{4b} \right) \cdot \frac{a}{4b} - \alpha \right] Q - \frac{2 \cdot \lambda \cdot B}{b^3 \cdot c \cdot b_0 \cdot a}}{4 \cdot \frac{l_e}{b} \left[ 1 + \gamma + \frac{3a}{4b} - \frac{l_e}{b} \left( 2 - \frac{l_e}{b} \right) \right]} \quad [N] \quad (3.124)$$



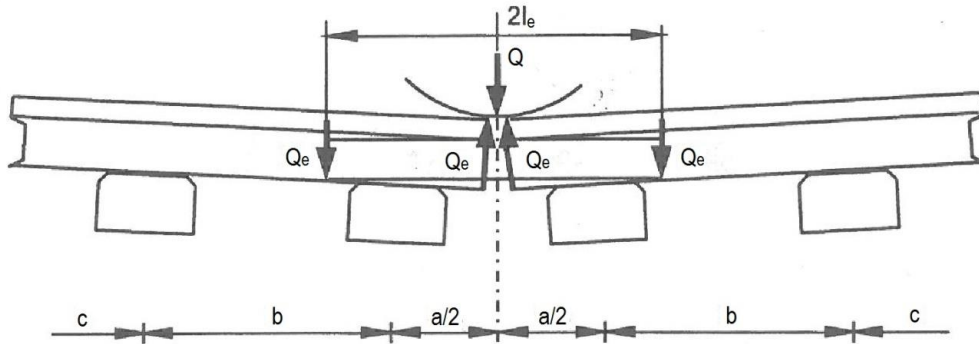


Fig.3.33. Solicitări la joante

unde:

- Q este sarcina pe roată [ N ];
- a – distanța între traversele de la joantă [ mm ];
- b - distanța între traversele ajutătoare [ mm ];
- c - distanța între traversele din câmp [ mm ];
- $Q_e$  – solicitarea dată de eclisă;
- $\gamma$  – caracteristica elastic a suprastructurii, calculată cu relația:

$$\gamma = \frac{B}{c \cdot b_0 \cdot a}; \quad B = \frac{4EI}{b^3} \quad (3.125)$$

- $\alpha$  –
- $\lambda$  – mărimea rostului de dilatație [ mm ];
- $b_0$  – lățimea echivalentă a șinei [ mm ];
- I – momentul de inerție al șinei [ mm<sup>4</sup> ];
- $I_e$  – momentul de inerție al perechii de eclise [ mm<sup>4</sup> ].

Rezultă:

$$M_e = Q_e \cdot l_e \quad [ \text{Nmm} ] \quad (3.126)$$

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} \quad [ \text{N/mm}^2 ] \quad (3.127)$$

unde  $W_e$  este modulul de rezistență al celor două eclise [ mm<sup>3</sup> ].

Se observă că sporirea lungimii ecliselor duce la diminuarea forței  $Q_e$  și a momentului  $M_e$ .

În cazul joantelor izolatoare lipite ( J.I.L. ) se presupune că eclisele lucrează împreună cu șina, adică eforturile unitare din încovoieră se determină cu relația:

$$\sigma = \frac{M}{W_{s,e}} \quad [ \text{N/mm}^2 ] \quad (3.128)$$

unde:

- M este momentul încovoieră în dreptul rostului lipit [ Nmm ];
- $W_{s,e}$  – modulul de rezistență a ansamblului șină – eclise [ mm<sup>3</sup> ] care nu este egal cu suma  $W_s$  ( pentru șină ) =  $W_e$ .

Experiența acumulată, încercările experimentale efectuate, precum și pretențiile față de siguranță au dus la recomandarea ca în calcule  $W_{s,e}$  să fie înlocuit cu  $W_e$ .

### 3.9. Dimensionarea stratului de piatră spartă

Factorii care influențează mărimea și repartizarea presiunilor sunt:

- sarcina pe osie ( $Q$ ) respectiv sarcina care revine unei traverse ( $Q'$ );
- viteza de circulație ( $V$ );
- tipul și rigiditatea șinelor ( $EI$ ) și traverselor ( $E_t l_t$ );
- distanța dintre traverse ( $a$ );
- elasticitatea ansamblului supra și infrastructură ( $c, U, D$ );
- natura, dimensiunile și calitatea stratului de piatră spartă și a infrastructurii;
- starea de întreținere a căii ferate.

Trebuie subliniat că determinarea corectă a solicitărilor (presiunilor) care acționează asupra stratului de piatră spartă și care se transmit prin acest strat până la nivelul platformei, este o problemă complexă care depinde de mulți factori. Totodată prioritatea o reprezintă determinarea presiunilor care se transmit terasamentului (la nivelul platformei) și despre care trebuie să avem certitudinea că este mai mică decât presiunea maximă admisă asupra terasamentului.

În literatura de specialitate sunt prezentate trei metode de calcul pe care în continuare le vom denumi:

- metoda aproximativă;
- metoda mai exactă (ambele bazându-se pe teoria lui Schramm de repartizare a presiunilor);
- metoda exactă.

În primele două metode (amândouă aproximative în realitate, dar diferite ca și complexitate) se presupune că sub talpa traversei presiunile sunt uniforme; stratul de piatră spartă are fragment sferice (identice), iar fiecare fragment (sferă) transmite pe verticală celor două fragmente cu care intră în contact presiunea înjumătățită (figura 3.34).

Se consideră că presiunile sub talpa traversei sunt unitare ( $=1$ ). Se observă că presiunile la adâncimea  $h$  sub talpa traversei nu sunt uniforme, variind de la  $1/128$  din presiunile sub talpa traversei la  $112/128$  din aceeași presiune.

#### 3.9.1. Metoda aproximativă

Pentru calculul aproximativ se folosesc notațiile din figura 3.35.

Se admite că presiunile sunt uniform repartizate atât sub talpa traversei cât și în adâncime. Scăderea presiunilor în adâncime este cauzată de faptul că suprafețele după care ele sunt repartizate sunt din ce în ce mai mari. Unghiul  $\alpha$  depinde de natura și calitățile materialului din stratul de piatră spartă; unghiul  $\alpha$  crește (deci repartizarea presiunilor se face pe suprafețe din ce în ce mai mari) odată cu creșterea calității materialului. Rezultă relațiile de calcul:

$$h = \frac{a - b_t}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}; \quad p_t = \frac{Q'}{l_t \cdot b_t}; \quad p_h = \frac{Q}{a \cdot (l_t + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \alpha)} \quad (3.128)$$

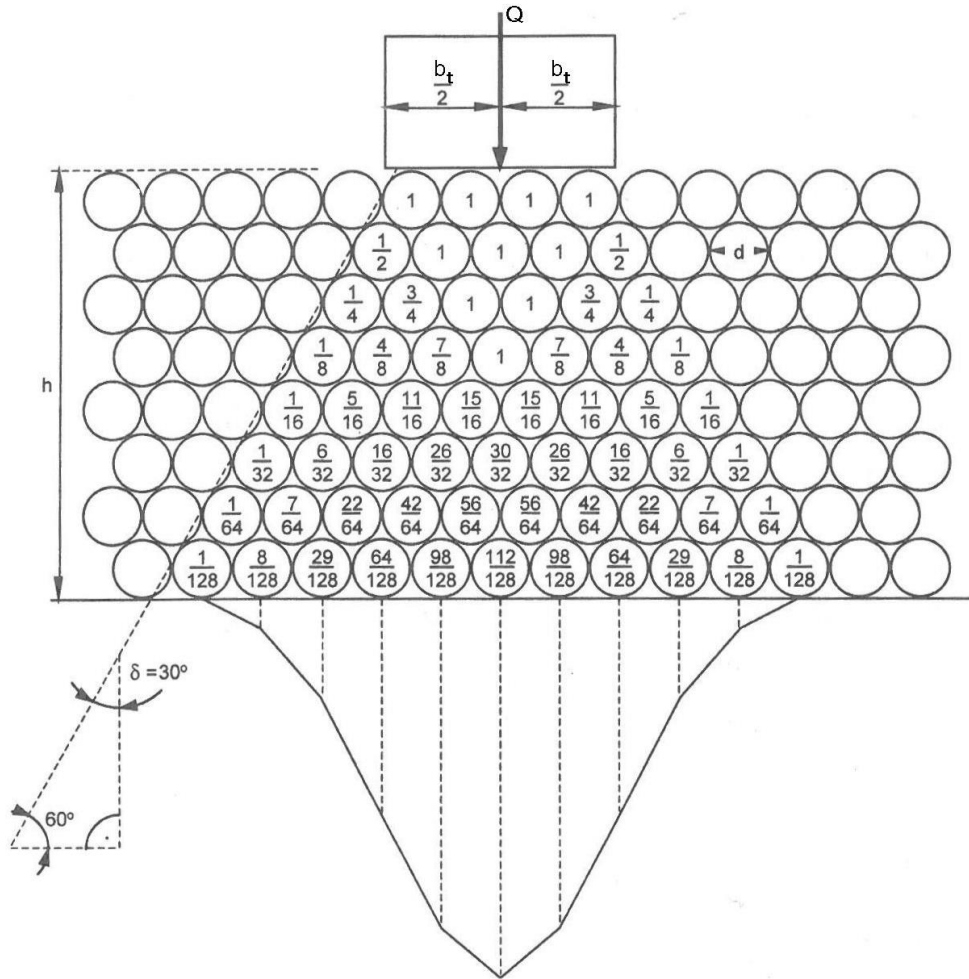


Fig. 3.34. Repartizarea presiunilor

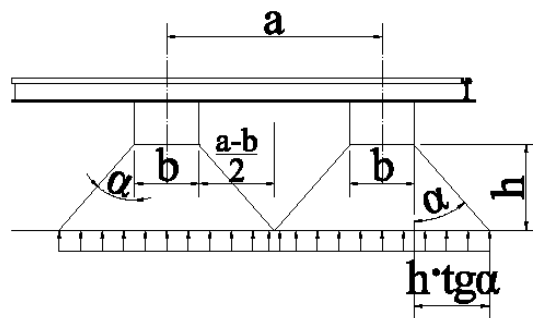
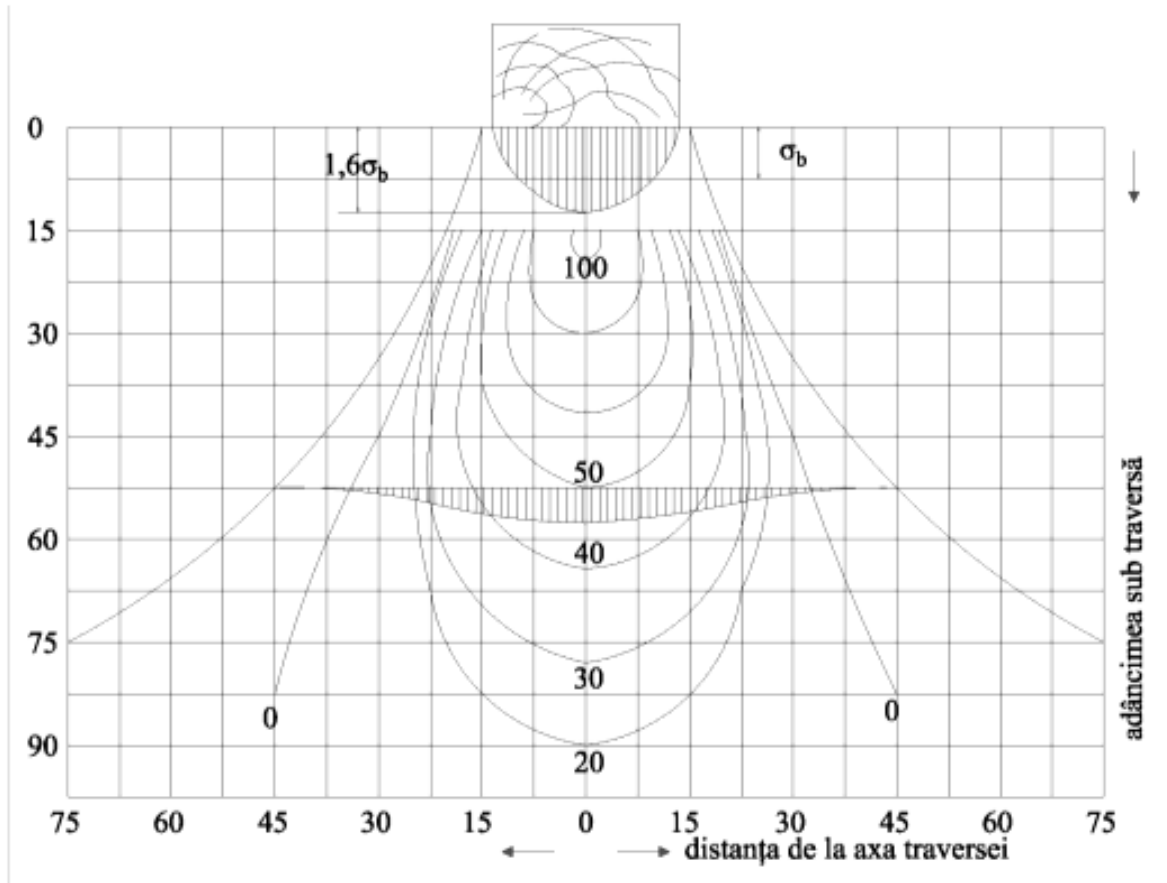


Fig. 3.35. Diagrame de presiuni sub talpa traversei în calculul aproximativ

### 3.9.2. Metoda mai exactă

În cazul unui calcul mai exact se consideră repartizarea presiunilor mai aproape de realitate (fig. 3.36).



**Fig. 3.36.** Repartizarea presiunilor în adâncime sub talpa traversei

Izobara zero nu este o linie dreaptă. Această izobară desparte zona activă de sub traversă de zona neinfluențată de acțiunea verticală a traversei. Înclinarea medie față de verticală a izobarei zero este aproximativ egală cu unghiul de frecare interioară a pietrei sparte ( $\cong 36^\circ$ ). Pentru calculul presiunilor în adâncime se consideră izobara zero ca linie dreaptă, presiunile se întind între izobarele zero și că suma presiunilor la fiecare nivel (suprafețele hașurate) sunt egale între ele (fig. 3.37).

Rezultă următoarele relații de calcul:

$$h_1 = \frac{b_t}{2 \cdot \text{tg} \alpha}; \quad \sigma_1 = \sigma_t; \quad \sigma_{max} = 1,6 \cdot \sigma_t \quad (3.129)$$

$$h_2 = \frac{a-b_t}{2 \cdot \text{tg} \alpha}; \quad \sigma_2 = \frac{b_t}{a-b_t} \cdot \sigma_t \quad (3.130)$$

$$h_3 = \frac{a}{2 \cdot \text{tg} \alpha}; \quad \sigma_3 = \frac{b_t}{a} \cdot \sigma_t \quad (3.131)$$

În cazul optim adâncimea  $h_3$  este la nivelul superior al terasamentului.

Rezistențele pe care le opune prisma căii la deplasarea cadrului șine-traverse în lung (p), transversal (q) sau pe verticală (g) sunt prezentate la capitolul „Calea fără joante”. Aceste rezistențe au rol determinant în asigurarea stabilității liniei de cale ferată (cu sau fără joante) în special în perioadele cu temperaturi ridicate în șine.

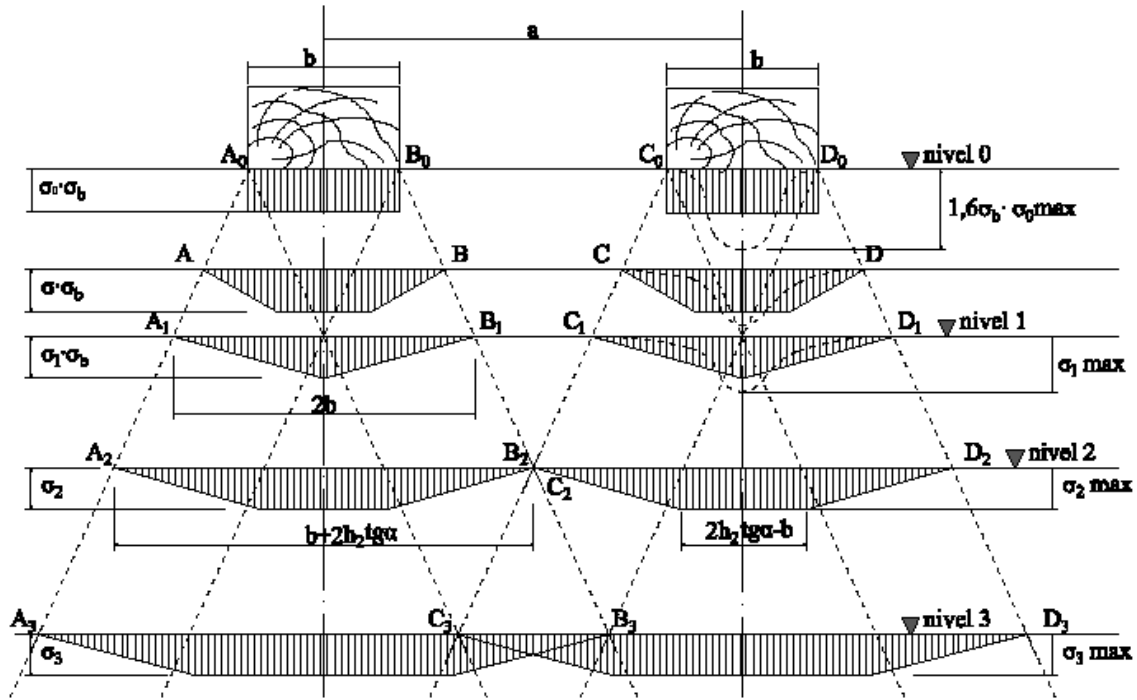


Fig. 3.37. Repartizarea presiunilor în adâncime după izobare drepte

### 3.9.3. Observații

În metodele aproximative (ambele prezentate mai sus) trebuie luată în considerare atât traversa întreagă, cât și suprafața tăpii traversei prin care se transmit presiunile stratului de piatră spartă. În figura 3.38 este prezentată repartizarea presiunilor de la talpa traversei din zona blocheților (sau zona burată) în stratul de piatră spartă spre platformă considerând izobarele liniare.

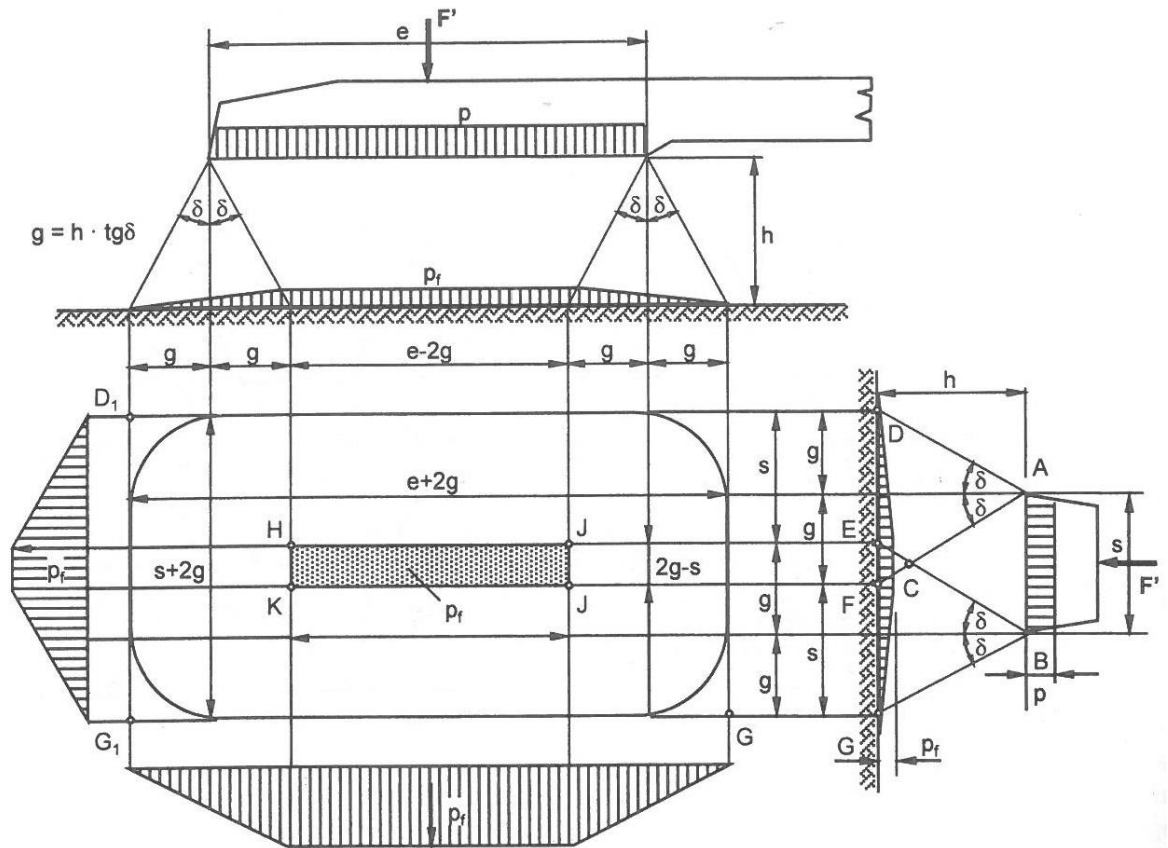
Considerând  $p_t$  presiunea transmisă prin talpa traversei,  $p_{np}$  – presiunea maximă transmisă la nivelul platformei,  $2u$  – lungimea blochetului sau a zonei burate de la un capăt al traversei,  $Q'$  – sarcina care revine unei jumătăți de traversă,  $h$  – grosimea stratului de piatră spartă,  $b_t$  – lățimea tăpii traversei,  $\alpha$  – unghiul izobarei zero cu verticala și admitând că volumul presiunilor este constantă în adâncime, rezultă:

$$Q' = 2ub_t p_t = \frac{1}{3} p_{np} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \quad [daN] \quad (3.132)$$

unde:

$$A_1 = (2u + 2htg \alpha)(b_t + 2htg \alpha); \quad (3.133)$$

$$A_2 = (2u - 2htg \alpha)(2htg \alpha - b_t). \quad (3.134)$$



**Fig. 3.38.** Repartizarea tridimensională a presiunilor sub traversa rigidă

Pentru simplificarea calculelor se consideră că diagrama de presiuni la nivelul platformei (la adâncimea  $h$ ) are forma unui trunchi de piramidă având baza mare cu aria  $A_1$ , baza mică cu  $A_2$ , iar înălțimea  $p_{np}$ . Încărcarea  $Q'$  (așa cum s-a arătat) este  $Q=0,8Q=0,8 \cdot 12.500 \text{ daN}=10.000 \text{ daN}$ . Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 3.4.

**Tabelul 3.4.** Valori ale presiunilor în stratul de piatră spartă

Denumire		Traversă lemn	Traversă beton
Lungime [m]		2.60	2.40
$2u$ [mm]		1100	850
$b_t$ [mm]		250	290
$Q' = Q/2$ [N]		125000	125000
$p_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]		0.24	0.3
$p_{np}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta = 30^\circ$	$h=400 \text{ mm}$	0.17
		$h=500 \text{ mm}$	0.12
		$h=600 \text{ mm}$	0.09
		$h=650 \text{ mm}$	0.08
	$\delta = 45^\circ$	$h=400 \text{ mm}$	0.1
		$h=500 \text{ mm}$	0.07
		$h=600 \text{ mm}$	0.05
		$h=650 \text{ mm}$	0.05

Se constată că presiunile la nivelul platformei sunt puțin mai mari la nivelul platformei în cazul traverselor T13. Se mai observă că în cazul grosimii de 40 cm a stratului de piatră spartă presiunile la nivelul platformei au valori de  $p_{nt}=1,8...2,1$

daN/cm<sup>2</sup>, valori care pot produce deformații importante la nivelul infrastructurii, în special în cazul terasamentelor slabe. Din acest motiv se impune ca terasamentul să fie protejat cu un strat de repartiție de 15...30 cm grosime, eventual devine necesară realizarea unui strat de formă (pentru consolidarea părții superioare a terasamentului).

Se mai constată că în cazul prisme căii de calitate unghiul  $\alpha$  sporește la 45°, iar presiunile la nivelul platformei scad semnificativ (cu 25...50%) față de ele aferente unghiului  $\alpha=30^\circ$ .

În realitate repartizarea presiunilor în adâncime se face după izobare curbe (fig.3.37). Până la adâncimea  $h_1$  presiunea maximă este cea de sub talpa traversei ( $\sigma_1=\sigma_b$ ), iar  $\sigma_{max}=1,6\sigma_b$ . Pentru  $h \in (h_1 \dots h_2)$  presiunea maximă se stabilește cu realții empirice de forma:

$$\sigma_{2max} = \frac{53,87}{h^{1,25}} \cdot \sigma_b \quad (3.135)$$

Aceeași relație se utilizează și pentru  $h \in (h_2 \dots h_3)$ . Începând cu adâncimea  $h_3$  sunt considerate uniforme și egale cu

$$\sigma_{3max} = \sigma_3 = \frac{b_t}{a} \cdot \sigma_b \quad (3.136)$$

Din cele prezentate se desprind câteva concluzii interesante:

- până la adâncimea  $h \leq h_1$  presiunea maximă sub traversă este  $1,6 \sigma_b$ , iar pe porțiunea  $B_1C_1$  presiunea este nulă; în consecință există tendința de refulare a materialului din infrastructură în stratul de piatră spartă, înnoroirea acestuia, deformații importante (denivelări, tensionări) ale nivelului liniei, rezultă că:

$$h_1 = \sqrt[1,25]{53,87 \frac{\sigma_b}{\sigma_{1max}}} = \sqrt[1,25]{\frac{53,87}{1,6}} = 17 \text{ cm}$$

- dacă  $h \in (h_1 \dots h_2)$  și  $h \in (h_2 \dots h_3)$  presiunile maxime scad până la  $\sigma_{3max} = \frac{b_t}{a} \sigma_b$ ; exemplificând pentru  $a=60 \text{ cm}$  și  $b_t=26 \text{ cm}$ , se obține:

$$h_2 = \sqrt[1,25]{53,87 \frac{\sigma_b}{\sigma_{2max}}} = \sqrt[1,25]{53,87 \frac{a - b_t}{b_t}} = 30 \text{ cm}$$

$$h_3 = \sqrt[1,25]{53,87 \frac{\sigma_b}{\sigma_{3max}}} = \sqrt[1,25]{53,87 \frac{a}{b_t}} = 47 \text{ cm}$$

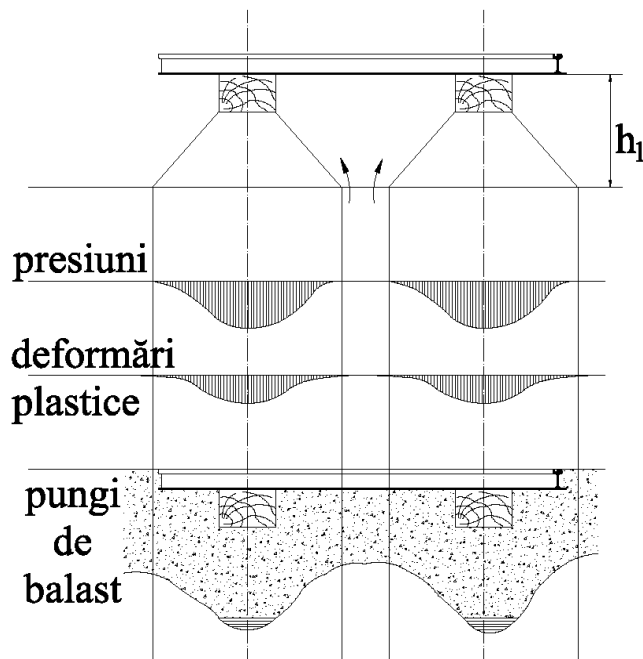
- situația optimă este aceea în care grosimea stratului de piatră spartă împreună cu cea a stratului de repartiție este  $h_3$ , deoarece presiunile sunt uniforme și mult micșorate, iar dacă totuși depășesc cele admisibile la nivelul terasamentului este necesară consolidarea platformei.

Cele trei cazuri sus-menționate pot fi ilustrate ca în figura 3.39.

Dacă  $h \leq h_1$ , presiunile sunt neuniforme, iar în dreptul traverselor sunt mari. Din aceste cauze se produc deformații remanente sub formă de albie (covată) în care apa stagnează și produce înmuierea terasamentului, deformațiile liniei, formarea pungilor de balast, înnoirea prismei căii, scurgerea mai dificilă a apelor pluviale. Executarea burajelor tehnologice în această situație nu are efectul așteptat fără asanarea platformei. Trebuie menționat că distanța prea mare dintre traverse poate fi și ea o cauză pentru formarea pungilor de balast.

Dacă  $h \in (h_1 \dots h_3)$  fenomenele pot fi asemănătoare, dar mai puțin intense.

Dacă  $h \geq h_3$  presiunile sunt uniforme și nu mai au loc fenomenele semnalate. Rezultă că grosimea stratului de piatră spartă împreună cu cea a stratului de repartiție trebuie să fie de cca 50...60 cm.



**Fig. 3.39.** Presiuni și deformații în stratul de piatră spartă



## Capitolul 4 ÎMBUNĂTĂȚIREA INTERACȚIUNII VEHICUL-CALE PENTRU SPORIREA SIGURANȚEI CIRCULAȚIEI ȘI A CONDIȚIILOR DE CONFORT

Atât în transportul urban pe șine, cât și pe căile ferate clasice există câteva tendințe clare:

- sporirea vitezei de circulație;
- creșterea gradului de siguranță a circulației;
- îmbunătățirea permanentă a condițiilor de transport.

Deformațiile elementelor geometrice ale căii ferate (denivelări longitudinale și transversale, variația ecartamentului, deripări, abaterile de la rosturile de dilatație, uzurile variabile la nivelul suprafețelor de rulare etc.) sunt mici în comparație cu cele ale drumurilor. Totuși, datorită maselor mari nesuspendate și din cauză că atât roțile cât și calea de rulare sunt executate din oțel, chiar și deformațiile mici pot produce șocuri și vibrații relativ mari.

Șocuri și vibrații sunt produse și de variația vitezei de deplasare, existența și alcătuirea joantelor, excentricitățile și abaterile suprafețelor de rulare ale bandajelor, smuciturile în timpul manevrelor, frânelor, accelerărilor, dar și de curbe.

Cutia vagonului poate avea în timpul deplasării șase grade de libertate în raport cu axele  $xOyz$  (așa cum au fost prezentate deja în capitolul III) și anume:

- mișcări verticale, generate de neregularitățile nivelului căii, respectiv elasticitatea neuniformă în lungul căii și care sunt preluate de suspensia elastică;
- mișcări transversale, numite și clătinare, care sunt provocate de variația bruscă a accelerației transversale (deripări scurte, coturi, capetele curbilor, în special a celor fără racordări, conicitatea bandajelor) și care sunt preluate de suspensia transversală sau de atelajul suspensiei;
- mișcări longitudinale, numite și recul, care sunt produse de smuciturile la frânare sau la demaraj sau de variația bruscă a vitezei în timpul mersului și care sunt preluate de arcurile tampoanelor și ale aparatului de tracțiune, dar și de legăturile pendulare ale suspensiei;
- mișcări de rotație în jurul axei verticale rezultate din mișcarea de șerpuire a osiilor și care sunt preluate de atelajul suspensiei;
- mișcări de rotație în jurul axei transversale numite și tangaj sau galop, care sunt generate de denivelările longitudinale, în special de la joante și care sunt preluate de elasticitatea suspensiei;
- mișcarea de rotație în jurul axei longitudinale numită și legănare sau ruluiu, care este cauzată de neregularitățile căii (denivelări transversale, variația ecartamentului, deripări etc. Combinate cu forma tronconică și deformațiile bandajelor roților) și care pot fi preluate tot de suspensia elastică.

Vibrațiile fundamentale ale cutiei vehiculului sunt cele verticale și orizontale ale cutiei pe suspensie și sunt produse de mișcările orizontale și verticale. Acestea au o deosebită importanță asupra condițiilor de mers, asupra confortului, atât din cauză că au un caracter periodic, cât și datorită faptului că se produc permanent în timpul mersului. Frecvențele acestor vibrații (în general mult mai înalte decât cele fundamentale) au valori de 8...20 Hz.

Caracteristicile constructive, dimensiunile, momentele de inerție și masele determină frecvențele proprii ale sistemelor vibratorii ale vehiculelor. În cazuri particulare, la o anumită viteză, frecvența vibrațiilor forțate poate să fie egală cu

frecvența vibrațiilor proprii, ceea ce duce la apariția fenomenului de rezonanță. Apar astfel amplitudini și accelerații mari, disconfort și chiar pericol de deraiere.

#### 4.1. Efectele mișcărilor oscilatorii ale materialului rulant

Pornind de la mișcările oscilatorii ale cutiei vagonului legat de osii printr-un sistem elastic (arcuri), mișcări prezentate la începutul acestui capitol, se constată că oscilația vagonului (cu masa suspendată elastic) nu se va opri sau calma decât ca urmare a unei forțe exterioare. Materialul rulant care are sistemul de suspensie format din foi de arc are mișcarea oscilantă calmată de frecarea dintre foile de arc. Cele cu arcuri elicoidale, neavând frecare interioară sunt prevăzute cu dispozitive speciale pentru calmarea oscilațiilor. Frecvența oscilațiilor proprii ale vagonului este de 1...2 Hz, chiar dacă oscilațiile se produc simultan în jurul mai multor axe.

Din mișcarea oscilantă a cutiei vagonului rezultă că sarcina pe roată, respectiv solicitarea la contactul roată-șină, nu este constantă. Deformațiile căii pot provoca mișcările oscilante, care la rândul lor pot fi amplificate de oscilațiile proprii ale vagonului, de mișcarea de șerpuire datorită conicității bandajelor etc. Teoretic amplitudinea oscilațiilor poate ajunge la valori deosebit de mari tinzând spre infinit. Sunt situații când oscilațiile diferite pot intra în rezonanță. În această situație, dacă unghiul de atac pozitiv apare în clipa în care sarcina pe roata respectivă se anulează, vagonul poate deraia.

Dacă lungimea de undă a mișcării șerpuite a vagonului sau distanța între joante este constantă ( $L$ ), iar vehiculul are o viteză constantă ( $V$ ) atunci frecvența oscilației va fi :

$$f_1 = \frac{V}{L} \quad \left[ \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{m} = \frac{1}{s} \right] \quad (4.1)$$

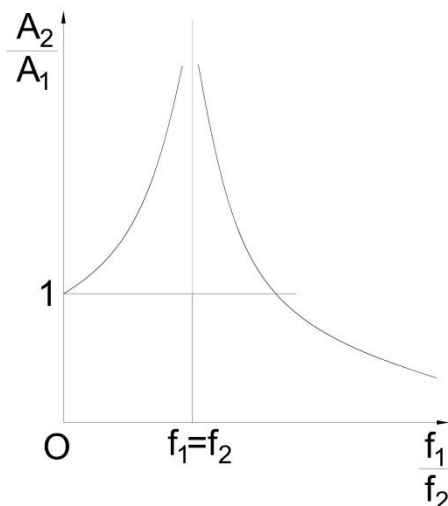
Să fie  $f_2$  frecvența oscilațiilor proprii ale vehiculului. În acest caz amplitudinea oscilației vehiculului ( $A_2$ ) în funcție de cele două frecvențe ( $f_1$  și  $f_2$ ), respectiv de amplitudinea oscilațiilor cauzate de cale ( $A_1$ ) va fi:

$$A_2 = A_1 \cdot \frac{1}{1 - \frac{f_1}{f_2}} \quad (4.2)$$

Rezultă (teoretic) că pentru  $f_1 = f_2 \Rightarrow A_2 \rightarrow \infty$ , adică se produce fenomenul de rezonanță. În figura 4.1. este reprezentată grafic expresia:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{1 - \frac{f_1}{f_2}} \quad (4.3)$$

Literatura de specialitate menționează pentru exemplificare deraierea unui tren accelerat între Bologna și Verona. Locomotiva electrică a deraiat în aliniament la o viteză de 104 km/h, fără ca organele de anchetă să fi găsit deformații ale căii sau imperfecțiuni de construcție ale locomotivei mai mari decât cele admise. S-a presupus că fenomenul de rezonanță a produs deraierea. Pentru a demonstra această presupunere, inginerii italieni au reprodus evenimentul (la scara 1:1) și au constatat că el s-a produs la aceeași viteză critică de 104 km/h, la care forța orizontală  $H$  a atins valoarea maximă, iar sarcina pe roată a fost minimă.



**Fig. 4.1. Fenomenul de rezonanță**

Studiul mișcărilor oscilatorii este o știință deosebit de complicată. Inginerul de întreținere a căii ferate va avea din ce în ce mai multă nevoie de această știință nu numai în studiul fenomenului de deraiere, dar și în aprecierea solicitărilor care acționează asupra căii, respectiv în aprecierea cât mai realistă a interacțiunilor roată-șină.

Soluția principală și cea mai eficientă pentru prevenirea unor asemenea evenimente feroviare este eliminarea rosturilor de dilatație prin transformarea căii clasice, cu joante, în cale fără joante.

## **4.2. Diminuarea vibrațiilor perturbatoare produse de calea de rulare**

În această lucrare studiile și cercetările se referă în exclusivitate asupra căii de rulare, nu și la materialul rulant.

Diminuarea vibrațiilor perturbatoare produse de calea de rulare este posibilă prin mai multe măsuri:

- menținerea nivelului longitudinal și transversal al căii în limitele admisibile pentru condițiile de exploatare prevăzute;
- prevenirea denivelărilor transversale încrucișate;
- menținerea prinderii active a șinelor pe traverse, longrine sau dale;
- sporirea elasticității suprastructurii;
- eliminarea joantelor;
- eliminarea uzurilor șinei, în special a celor ondulatorii;
- menținerea ecartamentului și a variației acestuia în toleranțele admise;
- menținerea direcției căii (ambele șine și axa căii) în toleranțele admise, atât în aliniament, cât și în curbe.

Nivelul longitudinal și transversal poate fi asigurat încă din construcția căii, alegând soluții moderne pentru suprastructură, soluții care au fost prezentate în capitolul II sau care urmează a fi prezentate în capitolul V. La fel pot fi asigurate ecartamentul, prinderile active și elasticitatea suprastructurii. Eliminarea joantelor se face prin sudura (aluminotermică sau cu arc electric și presiune) cap la cap a șinelor

și realizarea căii fără joante, iar uzurile (în special uzurilor ondulatorii) vor fi eliminate cu ajutorul unor utilaje grele de șlefuit șine.

Realizarea direcției căii și menținerea acesteia în exploatare reprezintă o sarcină importantă de rezolvat. În acest context, liniile (căile de rulare) cu structură clasică de cale ferată trebuie periodic verificate la săgeți, retrasate (dacă este cazul) și ripate, iar cele cu șinele fixate pe dale, înglobate în dale sau în carosabil trebuie corect poziționate, motiv pentru care înainte de fixarea lor definitivă se recomandă a fi măsurate la săgeți, retrasate și repositionate, după caz.

Retrasarea curbilor reprezintă o problemă interesantă și captivantă care a preocupat și preocupă în continuare o serie de specialiști. O serie de metode analitice, grafice, grafo-analitice și, mai nou, programe de retrasare sunt la dispoziția specialiștilor. În această lucrare este prezentat un program de retrasare original pe care l-am conceput, implementat și utilizat atât în activitatea de proiectare, cât și în cea de verificare a liniilor sau chiar în activitatea didactică. Programul de retrasare original bazându-se pe două metode clasice consacrate (metoda Cassan și metoda ripărilor succesive), în continuare vor fi prezentate și bazele teoretice ale acestor două metode.

#### **4.3. Retrasarea curbilor de cale ferată prin metoda Cassan și metoda ripărilor succesive**

În exploatare, atât aliniamentele cât și curbele suferă deformații în plan orizontal, din următoarele cauze:

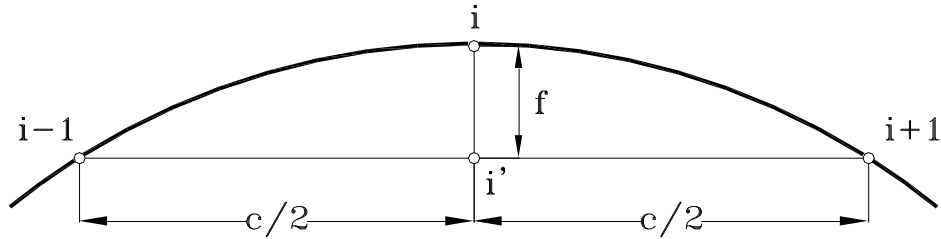
- solicitări orizontal-transversale (forță de ghidare, forță centrifugă etc.) transmise căii de către materialul rulant în mișcare;
- prisma căii incompletă, neomogenă, burată și compactată neuniform;
- rosturi de dilatație necorespunzătoare care se închid la temperaturi mai mici decât cele prevăzute, ducând la formarea "cot"-urilor sau chiar la șerpuirea căii;
- lucrările de întreținere a liniei;
- materialul mărunț incomplet, defect, slab activ;
- temperaturi ridicate în șinele căii fără joante etc..

Evoluția deformațiilor direcției căii este accelerată de solicitările dinamice suplimentare, cauzate de creșterea deformației.

Deformațiile direcției curbilor nu pot fi puse în evidență prin metode topografice obișnuite. Totodată, metodele topografice utilizate la trasarea unei linii noi, nu pot fi utilizate cu rezultate acceptabile, deoarece:

- direcția aliniamentelor vecine curbei este incertă, din cauza deformațiilor acestora în exploatare;
- lucrările de întreținere au modificat geometria curbei;
- lipsesc reperele definitive de aliniament și de curbă;
- erorile inițiale de trasare și execuție greu pot fi dovedite;
- circulația trenurilor influențează efectuarea măsurătorilor topografice.

Deformațiile unei curbe pot fi puse în evidență folosind curbura ( $1/\rho; C$ ) care nu poate fi măsurată direct, dar este proporțională cu săgeata, care poate fi măsurată direct. Prin săgeata "  $f$  " într-un punct "  $i$  " al unei curbe oarecare, se înțelege distanța dintre "  $i$  " și mijlocul "  $i'$  " al corzii de lungime "  $c$  " (fig.4.2.).



**Fig. 4.2. Săgeata**

Dacă lungimea corzii este suficient de mică în raport cu raza curbei, arcul  $i-1, i, i+1$  poate fi asimilat cu un arc de cerc având raza  $\rho$  [m], iar valoarea săgeții se poate determina cu relația :

$$f = \frac{c^2}{8 \cdot \rho} \text{ [m]} \quad \text{sau} \quad f = \frac{1000 \cdot c^2}{8 \cdot \rho} \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

Diagrama curburilor are aceleași proprietăți cu diagrama săgeților, raportul  $f/\rho$  fiind constant .

Axa liniilor de cale ferată nefiind marcată pe teren, operațiile de măsurare, retrasare, calcule etc. se aplică firului exterior al curbei care se află la o distanță constantă față de axa liniei, diferența dintre raze ( $R_e - R \approx e/2$ ) fiind o valoare neglijabilă în calcule în raport cu raza ( $R$ ) corespunzătoare axei liniei .

Rezultă, că în activitatea de retrasare, curba este definită prin fața laterală interioară a firului exterior .

Având în vedere legătura între săgeată și curbura, pe liniile în exploatare se limitează atât diferența maximă între două săgeți vecine, cât și diferența între săgeata maximă și cea minimă din curba circulară . Săgețile fiind măsurate cu coarda de 20 m, din 10 în 10 m dacă  $R \geq 250$  m, respectiv cu coarda de 10 m, din 5 în 5 m dacă  $R < 250$  m .

Abaterile maxime admise la săgeți sunt prezentate în tabelul 4.1. .

**Tabelul 4.1. Abateri maxime la săgeți conform Instrucției 314/1989**

Razele curbelor [m]																	
≤ 250		251-350		351-575		576-1000				R>1000 și aliniamente							
Vitezele [km/h]																	
≤30	31-50	>50	≤50	51-80	≤50	51-80	81-100	≤50	51-80	81-100	101-120	>120	≤50	51-80	81-100	101-120	>120
Toleranțele între săgețile vecine [mm]																	
16	12	8	30	25	25	20	16	20	16	14	10	8	20	15	12	8	7
Toleranțele între săgețile maxime și minime [mm]																	
25	20	15	45	35	35	30	24	30	25	20	15	12	30	25	18	12	10

La lucrările de reparații capitale și reparații periodice, toleranțele din tabelul 4.1. se reduc la jumătate . Tot la jumătate se reduc și toleranțele în curbele fără racordări .

Pe racordări toleranțele dintre săgețile vecine sunt jumătate din valoarea corespunzătoare săgeților vecine din cuprinsul curbei circulare . Aceste toleranțe se aplică peste diferența dintre săgețile nominale vecine .

În curbele la care insuficiența de supraînălțare aplicată este  $l > 70$  mm toleranțele de mai sus se reduc la jumătate .

Când diferența dintre săgețile vecine depășește cu  $10\text{ mm}$  valoarea toleranțelor sus menționate, se recomandă retrasarea curbei respective. Retrasarea se consideră de calitate, când după aplicarea pe teren a ripărilor determinate prin calcul, diferența dintre săgețile vecine este mai mică de  $10\text{ mm}$  pe liniile cu  $V_{\max} \leq 100\text{ km/h}$  și de  $5\text{ mm}$  pe liniile cu  $V_{\max} > 100\text{ km/h}$ .

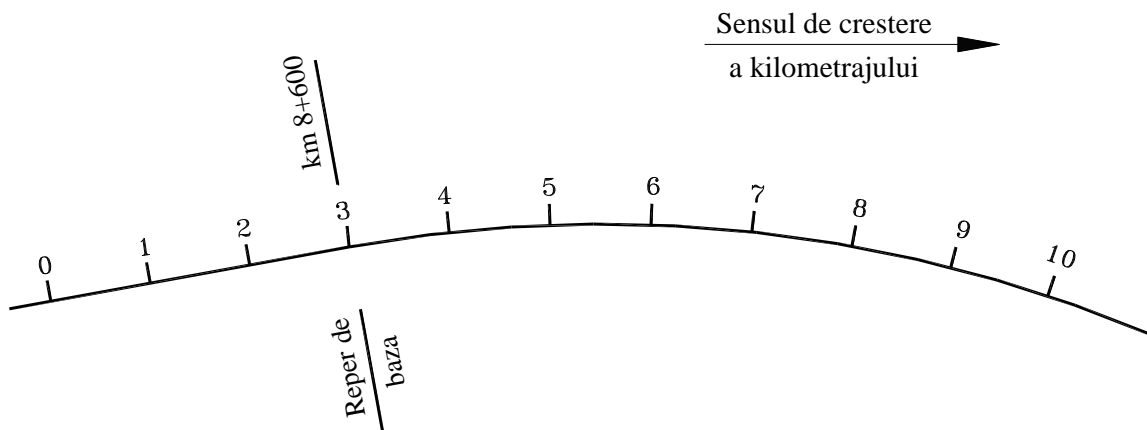
Prin retrasarea unei curbe se înțelege determinarea deplasărilor laterale ( $r_i$ ) într-un număr suficient de puncte ( $i$ ) de pe curbă, astfel încât după realizarea acestora pe teren să se obțină o curbă fără deformații. Deplasarea laterală a unui punct de pe linia deformată pentru a se obține punctul corespunzător de pe linia fără deformații, se numește *ripare*.

#### 4.3.1. Măsurarea săgeților

Măsurarea săgeților se face pe firul exterior (firul director) al curbei la  $14\text{ mm}$  sub N.S.S..

Pe teren se alege un reper de bază (bornă kilometrică sau hectometrică) aflat în poziția cea mai apropiată de începutul curbei. Poziția unui reper se transmite perpendicular pe axa liniei la șina de pe firul exterior al curbei și se materializează printr-o linie verticală trasată (cu cretă uleioasă, vopsea etc.) pe inima șinei dinspre axa liniei și pe fața superioară a tălpii șinei. Pornind de la acest punct se poziționează pe același fir de șină și în același mod atât în curbă, cât și în aliniamentele vecine punctele de diviziune (picheții) care se află la echidistanța de  $10\text{ m}$  sau  $5\text{ m}$ .

Picheții se numerotează (fig. 4.3.) de la  $0$  la  $n$ .



**Fig. 4.3.** Pichetarea unei curbe

Măsurarea săgeților se face în sensul de creștere a kilometrajului. Pentru a se putea defini direcțiile aliniamentelor vecine curbei, se marchează și pe acestea cel puțin câte 3 picheți, unde săgețile sunt aproximativ nule.

Pentru măsurarea săgeților se utilizează următoarele dispozitive:

- coardă (fir de nylon cu  $\Phi_{\max} = 0,5\text{ mm}$ ), două mânere de care se leagă coarda și o riglă gradată
- dispozitivul Robel de măsurare a săgeților.

Rigla permite măsurarea săgeților negative (important pentru aliniamente, respectiv curbe cu raze mari) deoarece diviziunea zero a riglei se află la  $10\text{ mm}$  de fața laterală a ciupercii șinei.

Săgețile măsurate pe teren trebuie trecute într-un tabel . Se notează și pozițiile kilometrice ale unor picheti .

Formația care efectuează măsurarea săgeților trebuie acoperită cu agenți de siguranța circulației și de protecția muncii, deoarece activitatea se desfășoară sub circulație .

Se recomandă ca măsurarea săgeților să se facă în condiții de mediu corespunzătoare ( fără ploaie, vânt etc. ) pentru a nu apărea erori .

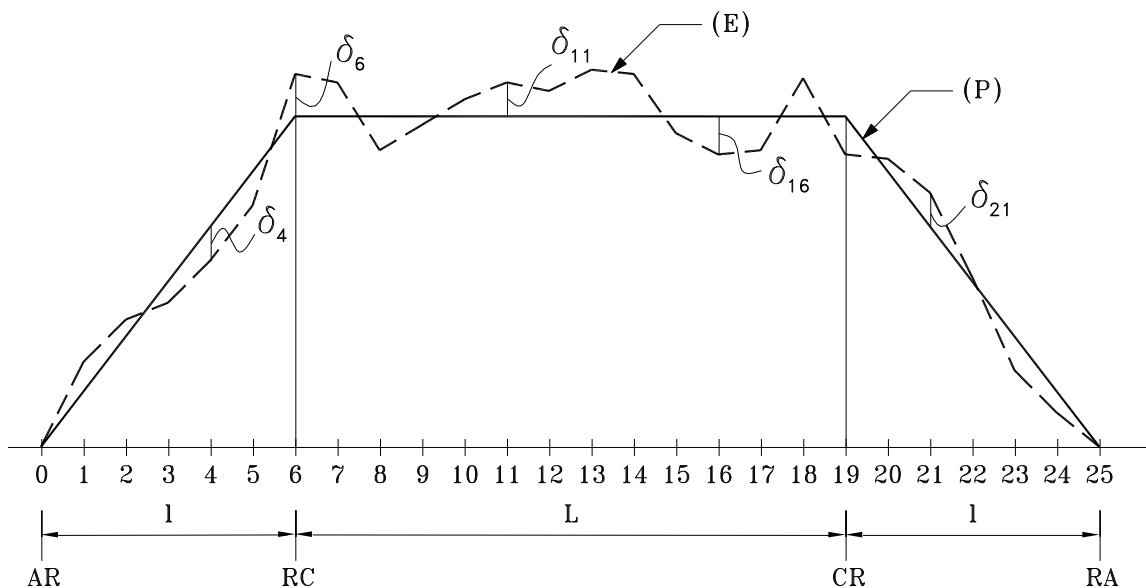
Pentru retrasarea curbelor pot fi utilizate mai multe metode, din care în continuare sunt prezentate următoarele :

- metoda diagramei săgeților ( metoda Cassan ) ;
- metoda diagramei unghiurilor ( metoda Höffer - Schramm ) ;
- metoda ripărilor succesive .

#### 4.3.2. Metoda diagramei săgeților

Metoda diagramei săgeților se mai numește și metoda Cassan .

După măsurarea săgeților pe teren ( așa cum s-a prezentat mai înainte ), valorile măsurate se reprezintă ca ordonate față de o axă orizontală, obținându-se diagrama ( E ) a săgeților curbei existente . Diagrama ( P ) a săgeților curbei proiectate are aceeași formă ca și diagrama curburii, adică o diagramă trapezoidală pentru o curbă de cale ferată obișnuită, prevăzută cu racordări ( fig. 4.4. ) .



**Fig. 4.4. Diagramele ( E ) și ( P )**

Se poate considera că primele săgeți nule la capetele diagramei ( E ) reprezintă extremitățile acesteia .

Pentru determinarea ripărilor se consideră trei puncte alăturate, echidistante (  $i-1$  ),  $i$ , (  $i+1$  ) care după efectuarea ripărilor  $r_{i-1}$ ,  $r_i$  și  $r_{i+1}$  ajung în pozițiile (  $i-1$  )',  $i$ ' , (  $i+1$  )' ( fig. 4.5. ).

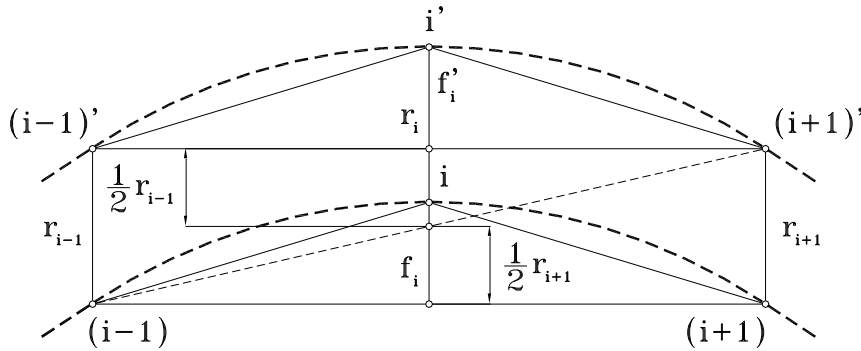
Se consideră  $\overline{(i-1),(i-1)'}$   $\parallel$   $\overline{i,i'}$   $\parallel$   $\overline{(i+1),(i+1)'}$  .

Cu notațiile din fig. 4.5. se pot scrie următoarele relații :

$$\left. \begin{aligned} \delta_i &= f_i - f_i' \\ f_i + r_i - f_i' &= \frac{1}{2}r_{i-1} + \frac{1}{2}r_{i+1} \end{aligned} \right\} \text{adică:rezultă} \quad 2\delta_i = r_{i+1} - 2r_i + r_{i-1} \quad (4.5)$$

Începutul celor două curbe coincide , adică :

$$r_0 = 0; \quad r_1 = 0; \quad \delta_0 = 0 \quad (4.6)$$



**Fig. 4.5. Legătura dintre ripări și săgeți**

Se scrie relația (4.5) pentru punctele  $i, i-1, i-2, \dots, 2$  :

$$\begin{aligned} r_i - 2r_{i-1} + r_{i-2} &= 2\delta_{i-1} \\ r_{i-1} - 2r_{i-2} + r_{i-3} &= 2\delta_{i-2} \\ \dots\dots\dots \\ r_3 - 2r_2 + r_1 &= 2\delta_2 \\ r_2 &= 2\delta_1 \end{aligned}$$

Prin însumarea relațiilor de mai sus, se obține :

$$r_i - r_{i-1} = 2 \sum_1^{i-1} \delta_i \quad (4.7)$$

Se scrie acum relația (4.7) pentru aceleași puncte  $i, i-1, \dots, 2$  :

$$\begin{aligned} r_i - r_{i-1} &= 2 \sum_1^{i-1} \delta_i \\ r_{i-1} - r_{i-2} &= 2 \sum_1^{i-2} \delta_i \\ \dots\dots\dots \\ r_2 &= 2 \sum_1^2 \delta_i \end{aligned}$$

Prin adunare se obține formula generală pentru determinarea ripării într-un punct oarecare  $i$  de pe curbă :



$$r_i = 2 \left[ \sum_1^{i-1} \delta_i + \sum_1^{i-2} \delta_i + \dots + \sum_1^2 \delta_i \right] \Rightarrow r_i = 2[(i-1)\delta_1 + (i-2)\delta_2 + \dots + \delta_{i-1}] \quad (4.8)$$

Se observă următoarele :

- valoarea ripărilor nu depinde de echidistanța aleasă ;
- curbele existentă și proiectată au tangentă comună la începutul lor ;
- numerotarea pichetilor începe de la primul punct unde săgețile curbelor (  $E$  ) și (  $P$  ) sunt diferite ;
- acest punct este ultimul care mai are riparea nulă.

La sfârșitul curbelor (  $E$  ) și (  $P$  ) se presupune că  $n$  este ultimul punct unde  $\delta_n \neq 0$  respectiv  $\delta_{n+1} \neq 0$  .

Rezultă că :

$$r_{n+1} = r_{n+2} = 0$$

Se scrie relația (4.8) pentru punctele (  $n+1$  ) și (  $n+2$  ) :

$$r_{n+1} = 2[n\delta_1 + (n+1)\delta_2 + \dots + \delta_n] = 0 \quad (4.9)$$

$$r_{n+2} = 2[(n+1)\delta_1 + n\delta_2 + \dots + 2\delta_n] = 0 \quad (4.10)$$

Prin scădere se obține :

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n = 0 \quad (4.11)$$

Relația (4.9) se mai poate scrie astfel :

$$n\delta_1 + (n-1)\delta_2 + \dots + \delta_n = 0 \quad (4.12)$$

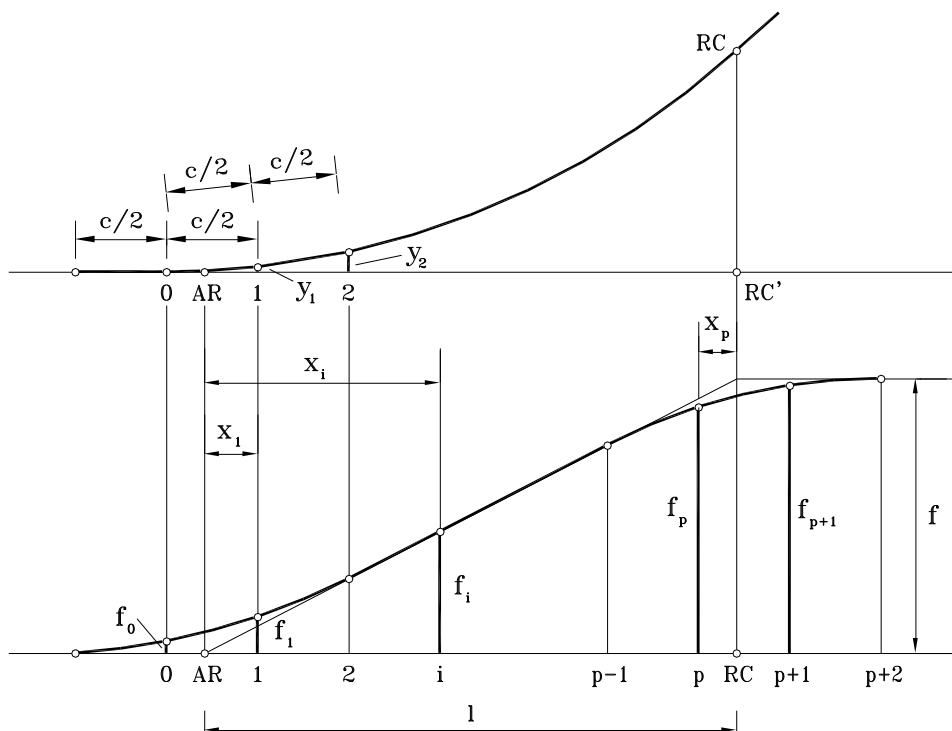
În continuare se înlocuiește  $\delta_i = f_i - f_i'$ , se multiplică toți termenii din relațiile (4.11) și (4.12) cu  $a$  respectiv cu  $a^2$ , unde  $a$  este echidistanța și se obține :

$$af_1 + af_2 + \dots + af_n = af_1' + af_2' + \dots + af_n' \quad (4.13)$$

$$a^2nf_1 + a^2(n-1)f_2 + \dots + a^2f_n = a^2nf_1' + a^2(n-1)f_2' + \dots + a^2f_n' \quad (4.14)$$

Relația (4.13) reprezintă egalitatea suprafețelor diagramelor (  $E$  ) și (  $P$  ), iar relația (4.14) exprimă faptul că centrele de greutate ale celor două suprafețe se află pe aceeași ordonată .

În metoda Cassan se determină săgețile de tranziție în jurul punctelor  $AR$ ,  $RC$ ,  $CR$  și  $RA$  (fig.4.6.) .



**Fig. 4.6. Săgeți în jurul punctelor AR și RC**

Folosind notațiile din figura 4.6. se pot scrie următoarele relații :

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{f}{l} = \frac{c^2}{8lR} = \frac{a^2}{2lR} = \frac{1}{2lR} \quad (\text{echidistanța } a = 1)$$

$$f_0 = \frac{1}{2} y_1 = \frac{x_1^3}{12lR}$$

$$f_0 = \frac{k}{6} x_1^3 \quad (4.15)$$

$$f_1 = \frac{y_2}{2} - y_1 = \frac{(x_1 + 1)^3}{12lR} - \frac{x_1^3}{6lR}$$

$$f_1 = \frac{k}{6} [(x_1 + 1)^3 - 2x_1^3] \quad (4.16)$$

Săgețile de tranziție în jurul punctului RC se calculează astfel :

$$f_p = f - \frac{k}{6} [(x_p + 1)^3 - 2x_p^3] \quad (4.17)$$

$$f_{p+1} = f - \frac{k}{6} x_p^3 \quad (4.18)$$

Celelalte săgeți în cuprinsul racordării se calculează cu relația :

$$f_i = k \cdot x_i \quad (4.19)$$

Relații de calcul similare se folosesc pentru calculul săgeților de tranziție în jurul punctelor AR și RC .

### 4.3.3. Exemplu de retrasare

Se consideră o curbă cu raza inițială  $R = 500$  m. Săgețile curbei existente, măsurate pe teren sunt prezentate pe coloana 2 ( $f^E$ ) a tabelului 4.2., respectiv în figura 4.7. (diagrama E).

Se arată că dacă raza  $R$  nu este cunoscută, se calculează media  $f$  a săgeților din porțiunea mijlocie a diagramei ( $E$ ) și se determină raza  $R$  a curbei circulare centrale.

Se efectuează următoarele calcule necesare pentru stabilirea diagramei ( $P$ ) :

$$g = \frac{S}{s} = \frac{24230}{1800} = 13,4611 \quad \Rightarrow \quad 2g = 26,9222$$

$$f = \frac{c^2}{8R} = \frac{400}{8 \cdot 500} = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

$$d = \frac{s}{2f} = \frac{1800}{2 \cdot 100} = 9,0 \quad \Rightarrow \quad 2d = 18,0$$

$$g - d = 4,4611 \quad \Rightarrow \quad 2(g - d) = 8,9222$$

$$g + d = 22,4611$$

$$k = \frac{f}{l} = \frac{f}{2(g - d)} = \frac{100}{2 \cdot 8,9222} = 11,208 \quad \Rightarrow \quad \frac{k}{6} = 1,868$$

Începutul racordării s-a ales în punctul 0, deci rezultă

$$x_1 = 1$$

$$f_0 = \frac{k}{6} = 1,868$$

$$f_1 = k = 11,208; \quad f_2 = 2k = 22,416$$

$$f_3 = 3k = 33,624; \quad f_4 = 4k = 44,832$$

$$f_5 = 5k = 56,040; \quad f_6 = 6k = 67,248; \quad f_7 = 7k = 78,456$$

$$x_8 = 8,9222 - 8 \cdot 1 = 0,9222$$

$$f_8 = 100 - 1,868(1,9222^3 - 2 \cdot 0,9222^3) = 89,6631$$

$$f_9 = 100 - 1,868 \cdot 0,9222^3 = 98,535$$

$$f_{18} = f - \frac{k}{6} = 100 - 1,868 = 98,132$$

$$f_{19} = f - k = 100 - 11,208 = 88,792$$

$$x_{26} = 26,9222 - 26 \cdot 1 = 0,9222$$

$$f_{26} = 1,868 \cdot (1,9222^3 - 2 \cdot 0,9222^3) = 10,3369$$

$$f_{27} = 1,868 \cdot 0,9222^3 = 1,465$$

$$f_{25} = k \cdot (1 + x_{26}) = 11,208 \cdot 1,9222 = 21,544$$

$$f_{24} = k \cdot (2 + x_{26}) = 32,752; \quad f_{23} = k \cdot (3 + x_{26}) = 43,960$$

$$f_{22} = k \cdot (4 + x_{26}) = 55,168; \quad f_{21} = k \cdot (5 + x_{26}) = 66,376$$

$$f_{20} = k \cdot (6 + x_{26}) = 77,584.$$

Se completează coloanele tabelului 4.2. Valorile determinate și înscrise în coloana a 9-a reprezintă mărimea ripărilor  $r_i$  în fiecare punct  $i$  al curbei.

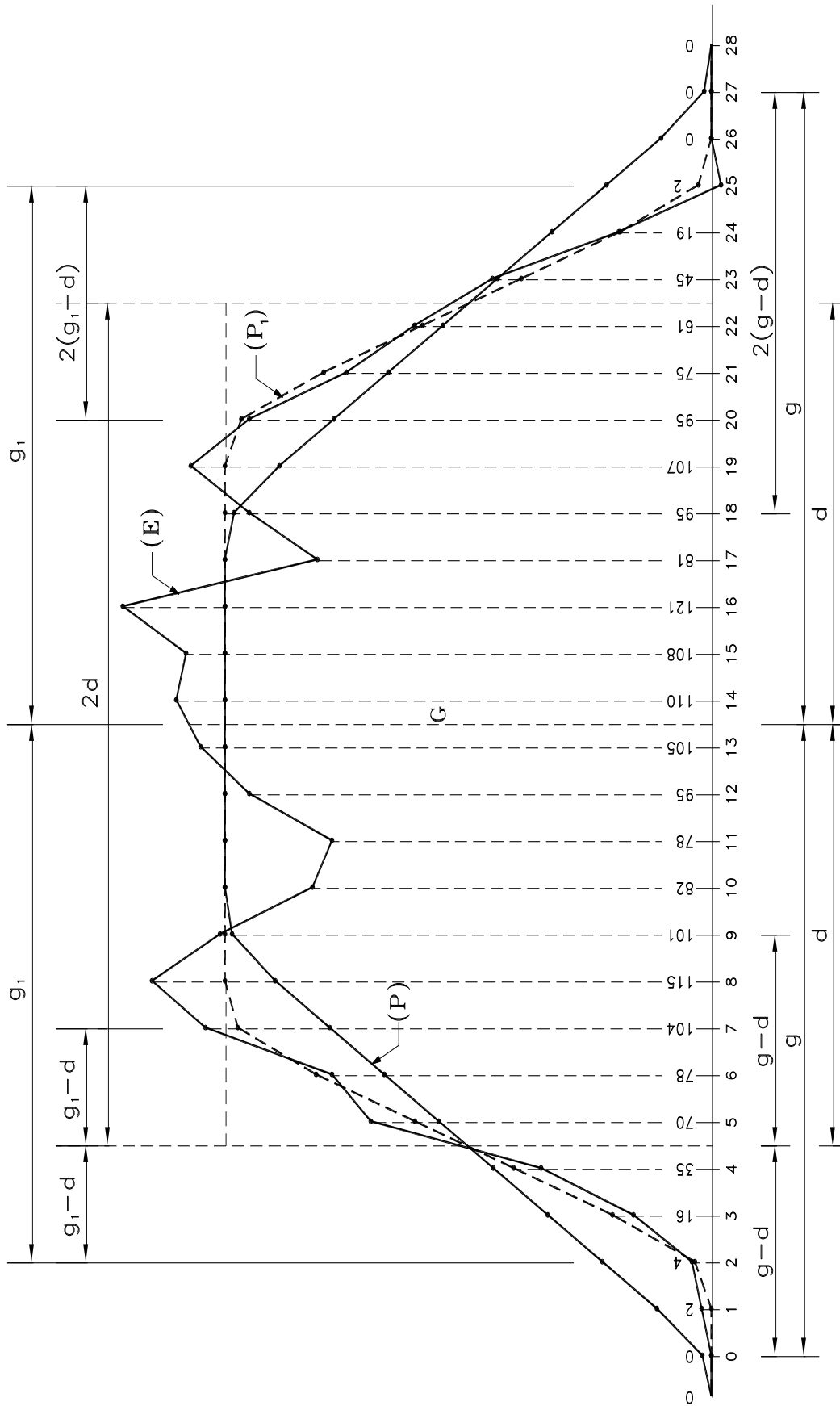


Fig. 4.7. Diagramele (E) și (P) pentru curba retrasată

Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane

Tabelul 4.2. Retrasarea curbei prin metoda Cassan

Nr. pichet	f <sup>E</sup> [mm]	i·f <sub>i</sub> <sup>E</sup> [mm]	f <sup>P</sup> [mm]	Diferențele col.2-col.4 [mm]		Sume Parțiale col.5 [mm]	Sume Parțiale col.6 [mm]	Ripări [mm]		Observații
				+	-			+ext	-int	
1	2	3	4	5		6	7	8		9
0	0	0	1,868		1,868	-1,868	-1,868		4	R=500 m $f = \frac{c^2}{8R} =$ =0.1m= =100mm a=10m
1	2	2	11,208		9,208	-11,076	-12,944		26	
2	4	8	22,416		18,416	-29,492	-42,436		85	
3	16	48	33,624		17,624	-47,116	-89,552		179	
4	35	140	44,832		9,832	-56,948	-146,5		293	
5	70	350	56,040	13,96		-42,988	-189,488		379	
6	78	468	67,248	10,752		-32,236	-221,724		443	
7	104	728	78,456	25,544		-6,692	-228,416		457	
8	115	920	89,6631	25,3369		18,6449	-209,7711		420	
9	101	909	98,535	2,465		21,1099	-188,6612		377	
10	82	820	100		18	3,1099	-185,5513		371	
11	78	858	100		22	-18,9801	-204,4414		409	
12	95	1140	100		5	-23,8901	-228,3315		457	
13	105	1365	100	5		-18,8901	-247,2216		494	
14	110	1540	100	10		-8,8901	-256,1117		512	
15	108	1620	100	8		-0,8901	-257,0018		514	
16	121	1936	100	21		20,1099	-236,8919		474	
17	81	1377	100		19	1,1099	-235,782		472	
18	95	1710	98,132		3,132	-2,0221	-237,8041		478	
19	107	2033	88,792	18,208		16,1859	-221,6182		443	
20	95	1900	77,584	17,416		33,6019	-188,0163		376	
21	75	1575	66,376	8,624		42,2259	-145,7904		292	
22	61	1342	55,168	5,832		48,0579	-97,7625		195	
23	45	1035	43,960	1,04		49,0979	-48,6346		97	
24	19	456	32,752		13,752	35,3459	-13,2887		26	
25	-2	-50	21,544		23,544	11,8019	-1,4868		3	
26	0	0	10,3369		10,3369	1,465	-0,0218		0	
27	0	0	1,465		1,465	0	-0,0218		0	
	<b>s=1800</b>	<b>S=24230</b>	<b>Σ=1800</b>	<b>173,1779</b>	<b>173,1779</b>					

Tabelul 4.3. Refacerea retrăsării aceleiași curbe prin metoda Cassan

Nr. pichet	f <sup>E</sup> [mm]	i·f <sub>i</sub> <sup>E</sup> [mm]	f <sup>P</sup> [mm]	Diferențele col.2- col.4		Sume parțiale col.5 [mm]	Sume parțiale col.6 [mm]	Ripări [mm]		Observații
				+	-			+ext	-int	
1	2	3	4	5		6	7	8		9
0	0	0	0	0		0	0	0		
1	2	2	0	2		2	2	4		
2	4	8	3,386	0,614		2,614	4,614	9		$g_1 = g - 2 = 11,4611$
3	16	48	20,3161		4,3161	-1,7021	2,9119	6		$2g_1 = 22,9222$
4	35	140	40,6322		5,6322	-7,3343	-4,4224		9	$d = \frac{1800}{2 \cdot 100} = 9$
5	70	350	60,9483	9,0517		1,7174	-2,705		5	$2d = 18$
6	78	468	81,263		3,263	-1,5456	-4,2506		9	$g - d = 2,4611$
7	104	728	97,344	6,656		5,1104	0,8598	2		$g + d = 20,4611$
8	115	920	100	15		20,1104	20,9702	42		$2(g - d) = 4,9222$
9	101	909	100	1		21,1104	42,0806	84		$k = \frac{100}{4,9222} = 20,3161$
10	82	820	100		18	3,1104	45,191	90		$\frac{k}{6} = 3,386$
11	78	858	100		22	-18,8896	26,3014	53		$f_2 = \frac{k}{6} = 3,386$
12	95	1140	100		5	-23,8896	2,4118	48		$f_3 = 20,3161$
13	105	1365	100	5		-18,8896	-16,4778		33	$f_4 = 40,6322$
14	110	1540	100	10		-8,8896	-25,3674		51	$f_5 = 60,9483$
15	108	1620	100	8		-0,8896	-26,257		53	$x_6 = 6,9222 - 6 \cdot 1 =$ $= 0,9222$
16	121	1936	100	21		20,1104	-6,1466		12	$f_6 = 100 - 3,386[1,9222^3 -$ $- 2 \cdot 0,9222^3] = 81,263$
17	81	1377	100		19	1,1104	-5,0362		10	$f_7 = 100 - 3,386 \cdot 0,9222^3 =$ $= 97,3444$
18	95	1710	100		5	-3,8896	-8,9258		18	$f_{20} = 100 - 3,386 = 96,614$
19	107	2033	100	7		3,1104	-5,8154		12	$f_{21} = 100 - 20,316 = 79,684$
20	95	1900	96,614		1,614	1,4964	-4,319		9	$x_{24} = 0,9222$
21	75	1575	79,684		4,684	-3,1876	-7,5066		15	$f_{24} = 18,737$
22	61	1342	59,3677	1,6323		-1,5553	-9,0619		18	$f_{25} = 2,6556$
23	45	1035	39,0516	5,9484		4,3931	-4,6688		9	$f_{23} = 20,3161(1 + 0,9222) =$ $= 39,0516$
24	19	456	18,737	0,263		4,6561	-0,0127		0	$f_{22} = 20,3161(2 + 0,9222) =$ $= 59,3577$
25	-2	-50	2,6556		4,6556	0,0005	-0,0122		0	
26	0	0	0	0		0,0005	-0,0117		0	
27	0	0	0	0		0,0005	-0,0112		0	
	<b>s=1800</b>	<b>S=24230</b>	<b>1799,9995</b>	<b>93,1654</b>	<b>93,1649</b>					

Se observă că ripările astfel determinate au valori prea mari ( $r_{\max}=r_{14}=514\text{mm}$ ), nerealizabile pe teren. Toate ripările fiind negative (înspre interiorul curbei) se apreciază că acestea pot fi micșorate, scurtând întreaga curbă,

atât prin scurtarea racordărilor, cât și prin deplasarea punctului  $AR$  în pichetul 2 . Se observă că nu se modifică suprafața diagramei (  $P$  ) și nici poziția centrului de greutate a aceleiași diagrame . Raza curbei circulare nu se modifică .

Diagrama (  $P'$  ) este reprezentată în fig. 4.7. Rezultatele calculelor efectuate pentru determinarea ripărilor sunt prezentate în coloana a 9-a a tabelului 4.2. .

Metoda Cassan, în cazul calculelor efectuate manual, se pretează doar la retrasarea curbelor simple, fără puncte ori direcții obligate . Raza curbei circulare, lungimea racordărilor și poziția acestora sunt alese oarecum arbitrar . În cazul obținerii unor ripări exagerate se reface întregul calcul . Un alt dezavantaj al metodei constă în faptul că nu permite o privire de ansamblu asupra problemei, deci soluția optimă nu poate fi aleasă de la început .

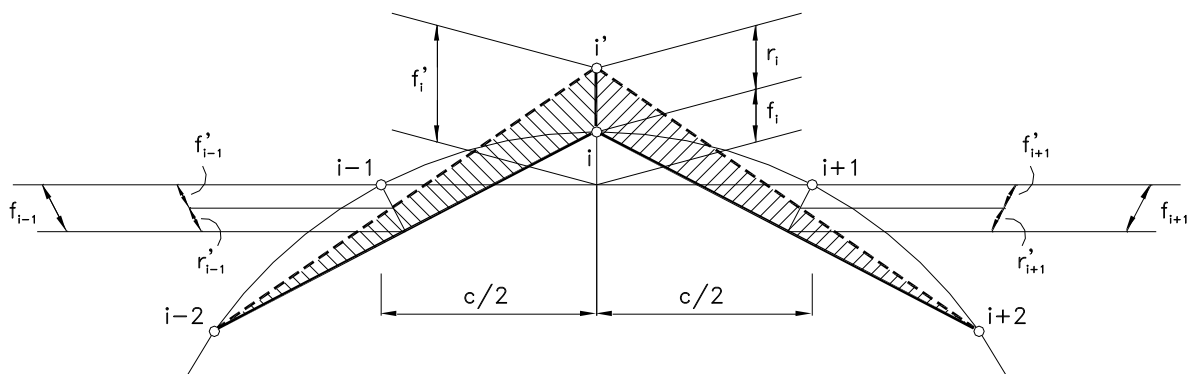
Dezavantajele prezentate pot fi eliminate prin utilizarea unor programe de calcul, bazate pe metoda de retrasare Cassan .

#### 4.3.4. Metoda ripărilor succesive

Precizia cu care au fost determinate ripările cu metoda diagramei unghiurilor de

1 cm sau metoda Cassan nu este întotdeauna satisfăcătoare. Se recomandă îmbunătățirea valorilor ripărilor astfel determinate, prin metoda ripărilor succesive.

Se consideră 5 puncte consecutive echidistante pe o curbă circulară (figura 4.8.). Săgețile măsurate sunt  $f_{i-1}$ ,  $f_i$  și  $f_{i+1}$  .



**Fig.4.8. Legătura dintre ripare și săgeți**

Se aplică o ripare  $r_i$  în punctul  $i$ , care astfel se deplasează în punctul  $i'$ , iar săgeata  $f_i$  devine :

$$f_i' = f_i + r_i \quad (4.20)$$

Săgețile vecine se modifică și ele cu toate că în punctele corespunzătoare (  $i-1$  și  $i+1$  ) nu s-a intervenit cu nici o ripare .

$$f_{i-1}' = f_{i-1} - r_{i-1} = f_{i-1} - \frac{r_i}{2} \quad (4.21)$$

$$f_{i+1}' = f_{i+1} - r_{i+1} = f_{i+1} - \frac{r_i}{2} \quad (4.22)$$

Rezultă că la aplicarea unei ripări  $r_i$  într-un punct oarecare  $i$ , săgețile vecine se modifică cu  $\frac{-r_i}{2}$ .

Adunând relațiile (4.20), (4.21) și (4.22) se obține :

$$f'_{i-1} + f'_i + f'_{i+1} = f_{i-1} + f_i + f_{i+1} \quad (4.23)$$

Generalizând :

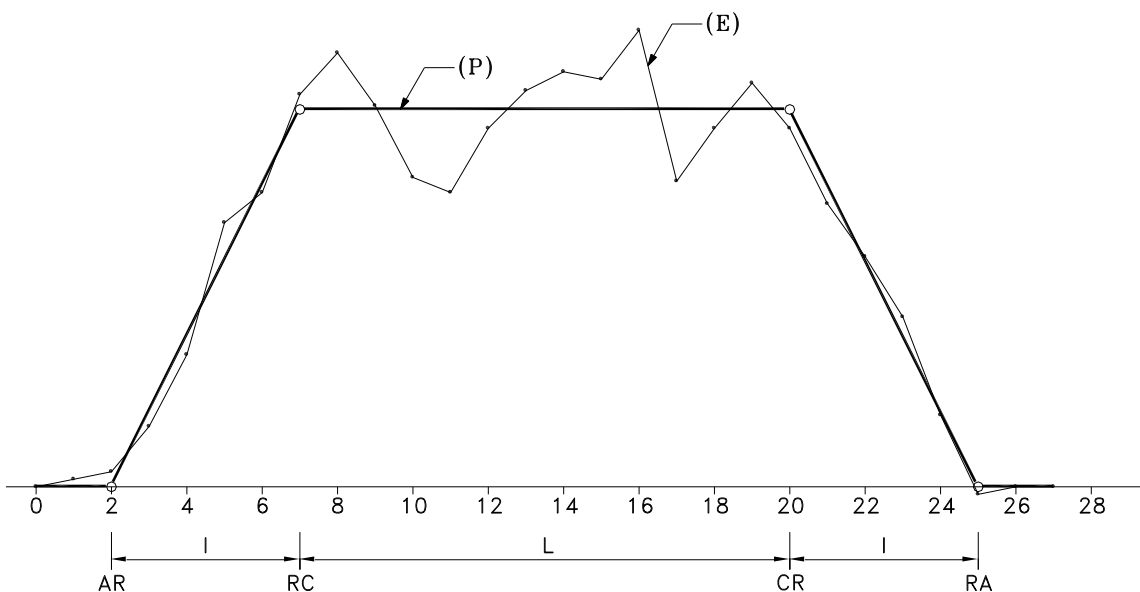
$$\sum_1^n f'_i = \sum_1^n f_i \quad (4.24)$$

ceea ce este echivalent cu relația (4.13).

#### 4.3.5. Exemplu de calcul

În cazul în care nu avem date privind curba proiectată ( date din albumul curbelor, curba retrasată prin metoda diagramei unghiurilor etc. ), aceasta se va determina așa cum a fost prezentat în metoda Cassan, fără a se calcula valoarea săgeților în jurul punctelor  $AR$ ,  $RC$ ,  $CR$  și  $RA$ .

În exemplul de mai jos, considerăm că datele privind curba proiectată corespund curbei retrasate prin metoda diagramei unghiurilor (fig. 4.9.).



**Fig.4.9. Diagramele (E) și (P)**



Tabelul 4.4. Retrasarea curbei prin metoda ripărilor succesive

Nr. pichet	$f^E$ [mm]	$f^P$ [mm]	$\delta$ [mm]	Riparea I-a [mm]			$\delta_1$ [mm]	Riparea a II-a [mm]			$\delta_2$ [mm]	$r_{final}$ [mm]	$f_{rip\ i}$ [mm]
				i-1	i	i+1		i-1	i	i+1			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2
2	4	0	4	-5	0	0	-1	0	0	0	-1	0	-1
3	16	20	-4	-10	10	0	-4	3	0	0	-1	10	19
4	35	40	-5	-5	20	-5	5	2	-6	0	1	14	41
5	70	60	10	-5	10	-10	5	-2	-4	3	2	6	62
6	78	80	-2	-5	10	-5	-2	-2	4	2	2	14	82
7	104	100	4	-10	10	-5	-1	-1	4	-2	0	14	100
8	115	100	15	-35	20	-5	-5	3	2	-2	-2	22	98
9	101	100	1	-55	70	-10	6	2	-6	-1	1	64	101
10	82	100	-18	-55	110	-35	2	0	-4	3	1	106	101
11	78	100	-22	-35	110	-55	-2	0	0	2	0	110	100
12	95	100	-5	-10	70	-55	0	-2	0	0	-2	70	98
13	105	100	5	5	20	-35	-5	1	4	0	0	24	100
14	110	100	10	15	-10	-10	5	0	-2	-2	1	-12	101
15	108	100	8	15	-30	5	-2	0	0	1	-1	-30	99
16	121	100	21	-5	-30	15	1	-1	0	0	0	-30	100
17	81	100	-19	-10	10	15	-4	1	2	0	-1	12	99
18	95	100	-5	-5	20	-5	5	0	-2	-1	2	18	102
19	107	100	7	-5	10	-10	2	-2	0	1	1	10	101
20	95	100	-5	-5	10	-5	-5	-1	4	0	-2	14	98
21	75	80	-5	0	10	-5	0	-2	2	-2	-2	12	78
22	61	60	1	0	0	-5	-4	1	4	-1	0	4	60
23	45	40	5	0	0	0	5	0	-2	-2	1	-2	41
24	19	20	-1	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	20
25	-2	0	-2	0	0	0	-2	0	0	0	-2	0	-2
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1800	1800	0				0				0		1800

Calculul ripărilor se face după modelul prezentat în tabelul 4.4., astfel :

- se trec în coloana a 2-a valorile săgeților existente ( $f^E$ );
- în coloana a 3-a se trec valorile săgeților proiectate ( $f^P$ ); trebuie ca  $\sum f^E = \sum f^P$ , pentru a nu se modifica unghiul de abatere a direcției aliniamentelor vecine curbei;
- se calculează diferențele  $\delta_i = f_i^E - f_i^P$  și se trec în coloana a 4-a ; ca verificare  $\sum_1^n \delta_i = 0$ ;
- se încearcă să se aducă valorile  $\delta_i$  cât mai aproape de zero ( într-un ecart de  $\pm \varepsilon$  ) prin înscrierea de ripări în coloana a 6-a; se ține cont de faptul că în punctele vecine ( coloanele a 5-a și a 7-a ) săgețile se modifică cu  $\frac{-r_i}{2}$ .
- se adună valorile din coloanele 4, 5, 6 și 7 obținându-se noile abateri ( $\delta_{1\ i}$ ) care se trec în coloana a 8-a;

- se repetă procedeul de la noile abateri ( $\delta_{1i}$ ) până ce ultimele abateri ( $\delta_{ultim i}$ ) se încadrează în toleranțele  $\varepsilon$  impuse;
- ripările ( $r_{final i}$ ) care urmează a fi realizate pe teren se calculează însumând pe linii valorile din coloanele  $i$  ale ripărilor determinate (*col.6+col.10* din tabelul 4.4.);
- săgețile obținute după riparea curbei ( $f_{rip i}$ ) se calculează cu relația :
 
$$f_{rip i} = f_i^P + \delta_{ultim i} \quad (4.25)$$

În exemplul de calcul prezentat s-a ales  $\varepsilon = 4$  mm pe lungimea curbei circulare.

Pe racordări :

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon}{2} = 2mm$$

Rezultă că :

$$|\delta_{ultim}| \leq 4mm \text{ respectiv } |\delta_{ultim i}| \leq 2mm \text{ după caz .}$$

#### 4.3.6. Concluzii

Dacă retrasarea aliniamentelor nu reprezintă lucrări prea dificile, în schimb retrasarea curbilor a constituit întotdeauna o problemă destul de grea .

În mod teoretic, ar fi normal ca la operațiile de retrasare să se folosească aceleași metode topografice care au stat la baza trasării inițiale .

Practica de șantier a arătat însă că acest lucru nu poate da rezultate, datorită următoarelor cauze :

- pe liniile în exploatare, aliniamentele care preced și urmează curbilor sunt mai mult sau mai puțin deformate, așa în cât nu permit măsurarea exactă a unghiului la vârf și nici determinarea precisă a extremităților curbei
- în numeroase cazuri, vârful curbilor a devenit, între timp, inaccesibil datorită unor noi construcții
- anumite elemente geometrice ale curbilor au fost modificate în urma lucrărilor de întreținere
- lipsa de cele mai multe ori, a unor repere definitive care să permită reconstituirea traseului inițial
- dovedirea unor erori inițiale de trasare care complică și mai mult lucrările
- operațiile de vizare și de măsurare a unghiurilor sau a distanțelor au devenit mult mai dificile datorită circulației și liniei ca atare .

Metoda Cassan, având un caracter grafo-analitic, nu a dat nici ea rezultate satisfăcătoare, deoarece este însoțită de calcule numerice laborioase . De asemenea, această metodă nu poate fi aplicată cazurilor mai complicate : curbe compuse, puncte sau direcții obligate etc .

#### 4.4. Prezentarea programului de retrasare utilizat

Programul de retrasare utilizat, având la bază limbajul de programare Pascal, combină două metode de retrasare și anume metoda CASSAN și metoda ripărilor succesive. Programul se pretează în mod special retrăsării curbilor cu o singură rază, având racordări parabolice (cu lungime de minim două echidistanțe, respectiv trei puncte de măsurare). Retrasarea curbilor cu mai multe raze se poate face cu prezentul program utilizând metoda ripărilor succesive sau prin metoda Cassan (cu

## Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane

introducerea unor diferențe de săgeți); în ambele cazuri elementele curbei (kilometrajul punctelor principale, razele curbelor circulare și lungimile de racordare) vor trebui determinate manual.

După lansarea în execuție, programul solicită un fișier de tip „excel” care se alege din lista afișată. Este necesar ca fișierul să existe în directorul de lucru; el va avea un șablon predefinit de forma:

e r s	Curba Test		Între stațiile				
	Linia nr.	1				V[km/h]	
	Deviația curbei:		Între km			h (mm)	
	Echidistanță:	10	Pichet nr.:	1		Poz. Km	0+0
	Raza (m)		L1 (m)			Rip min.	
	Sag.pr. (mm)		L2 (m)			Rip max.	
					Sum Rip.		

*	Fex	Dfe	Rip	Fpr	Dst-ex	Dst-pr	PCT	poz_pct	km_pct	De
...	(5 rânduri necomplete)									
1	fe_1									
2	fe_2						XAR			
...	...									
n	fe_n									
...	(5 rânduri necomplete)									

Fișierul „excel” poate fi completat în afara programului de retrasare sau în cadrul acestuia. În cazul în care fișierul nu este completat sau trebuie modificat, se apasă butonul „Afișare\_Excel” după care se poate completa sau modifica foaia de date.

În ambele cazuri, datele de intrare se introduc în șablon, astfel:

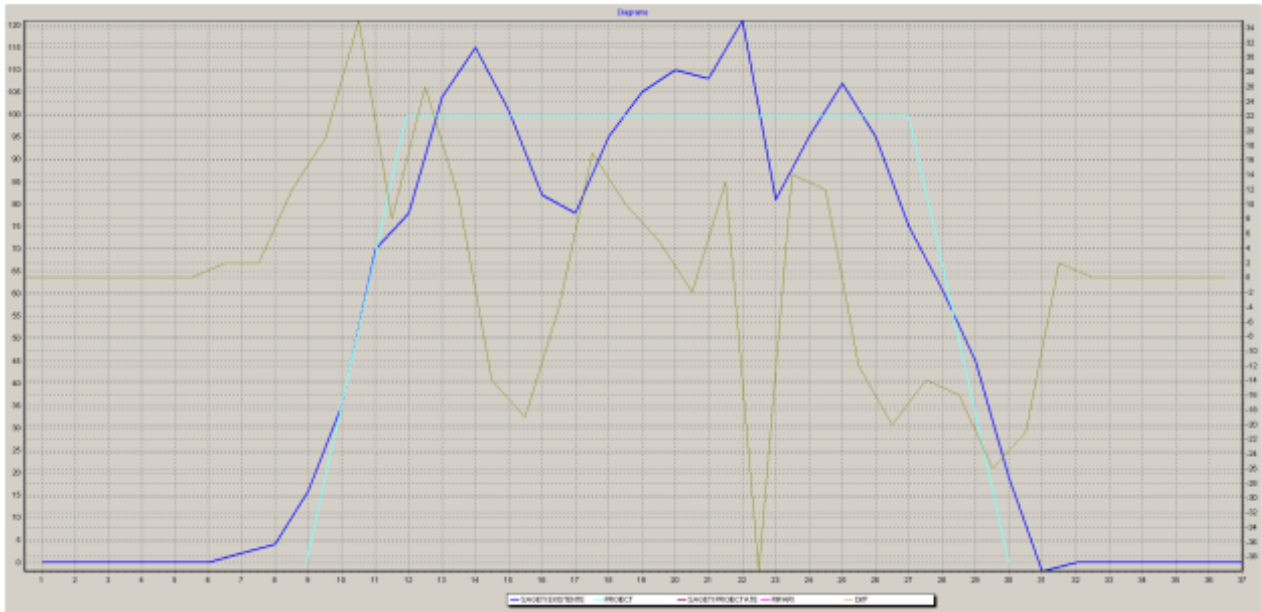
- în partea superioară, în primele trei rânduri se introduc datele generale, de identificare ale curbei;
- pe rândul al patrulea, având prefixul „e” este necesar să se completeze valoarea echidistanței de măsurare a săgeților [m], respectiv numărul unui pichet și poziția lui kilometrică, elemente necesare pentru determinarea kilometrajului punctelor principale; numărul pichetului se raportează la prima săgeată măsurată (care va avea nr. „1”);
- următoarele trei rânduri vor fi completate de către program, prin utilizarea metodei Cassan; ele vor putea fi modificate manual doar dacă se intervine cu metoda ripărilor succesive sau dacă se vor introduce diferențe de săgeți în metoda Cassan;
- rândul cu prefixul „\*” conține capul de tabel, cu următoarele semnificații pentru coloanele aferente:
  - \* - coloana numerelor pichetilor în care s-au măsurat săgețile existente; prima săgeată măsurată va avea nr. 1; se recomandă, în funcție de situație să se prevadă câteva rânduri între capul de tabel și prima săgeată, pentru posibilitatea extinderii curbei înainte de prima săgeată măsurată;
  - Fex [mm] - coloana valorilor săgeților existente; săgețile se vor introduce cu semn; în cazul curbelor succesive de sens contrar se alege convențional pentru una din curbe semnul „+” iar pentru cealaltă semnul „-”;

- Dfe [mm] - coloana diferențelor de săgeți, utilizate pentru retrasarea curbilor cu mai multe raze prin metoda Cassan; diferențele sunt astfel calculate încât pentru o curbă cu mai multe raze să rezulte pentru calcul o curbă cu o singură rază (care se va calcula în mod clasic); în general, diagrama diferențelor a avea formă trapezoidală; introducerea unor diferențe mici (de ordinul milimetrilor) poate reduce semnificativ (atunci când este nevoie) valoarea ripărilor;
- Rip [mm] - coloana ripărilor necesare pentru corectarea defectelor de direcție din cuprinsul curbei; ripările se calculează automat prin program;
- Fpr [mm] - coloana săgeților proiectate, obținute după aplicarea ripărilor; aceste valori se obțin automat, prin formule în foaia excel, modificând ripările; nu se va interveni manual asupra ripărilor proiectate;
- Dst-ex [m] - distanța existentă de gabarit, spre exteriorul curbei; se vor măsura pe teren acele distanțe care vor fi considerate esențiale pentru retrasarea corectă a curbei: repere de curbă, stâlpi, marginea platformei etc.; baza de măsurare va fi stabilită de operator și poate fi: fața interioară a șinei de pe exteriorul curbei sau axa căii ferate;
- Dst-pr [m] - distanța proiectată de gabarit, spre exteriorul curbei, obținută după aplicarea ripărilor; aceste distanțe se calculează automat și se vor verifica în timpul retrasării (să nu depășească valorile maxime stabilite de standardele sau instrucțiunile CFR în vigoare);
- PCT - codurile punctelor principale ale curbei (XAR, XRC, XCR, XRA); aceste puncte pot fi poziționate inițial aproximativ, iar programul le va actualiza pe parcursul retrasării; dacă nu se introduc inițial aceste coduri, programul va adopta pentru lungimile de racordare valoarea minimă de trei intervale pentru ambele racordări;
- poz\_pct - poziția punctelor principale raportate la numărul pichetilor de măsurare a săgeților (din coloana „\*"); aceste valori se calculează automat;
- km\_pct - poziția kilometrică a punctelor principale raportate la poziția kilometrică a pichetului reper, valori introduse pe rândul al patrulea (cu prefixul „e"); aceste poziții kilometrice se calculează automat;
- următoarele rânduri vor fi completate de către operator, completându-se doar numărul pichetilor (începând cu nr. 1), săgețile existente, diferențele de ripări, distanțele existente (dacă există) și eventual codurile punctelor principale; programul va citi săgețile și celelalte date doar pe rândurile unde sunt completate numerele pichetilor; în mod automat se vor introduce câte cinci săgeți cu valoare „0” înainte de prima și după ultima săgeată, pentru a da posibilitatea extinderii curbei în ambele capete (în funcție de necesitate), motiv pentru care se recomandă să se asigure cinci rânduri necompletate înainte de primul pichet și cinci rânduri necompletate după ultimul pichet.

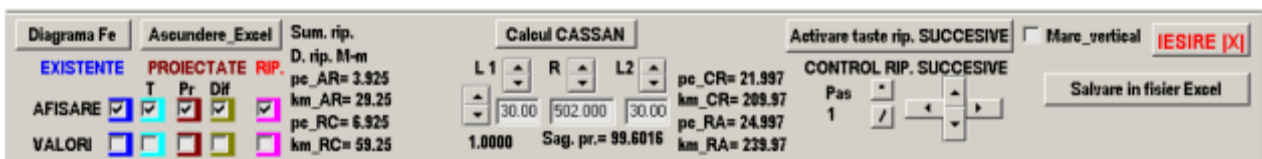
Cu foaia „excel” completată cel puțin cu datele obligatorii se apasă butonul „Diagrama Fe” și se afișează imaginea de mai jos (graficul săgeților existente, graficul

## Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane

săgeților proiectate ideale și graficul diferențelor dintre săgețile vecine existente),



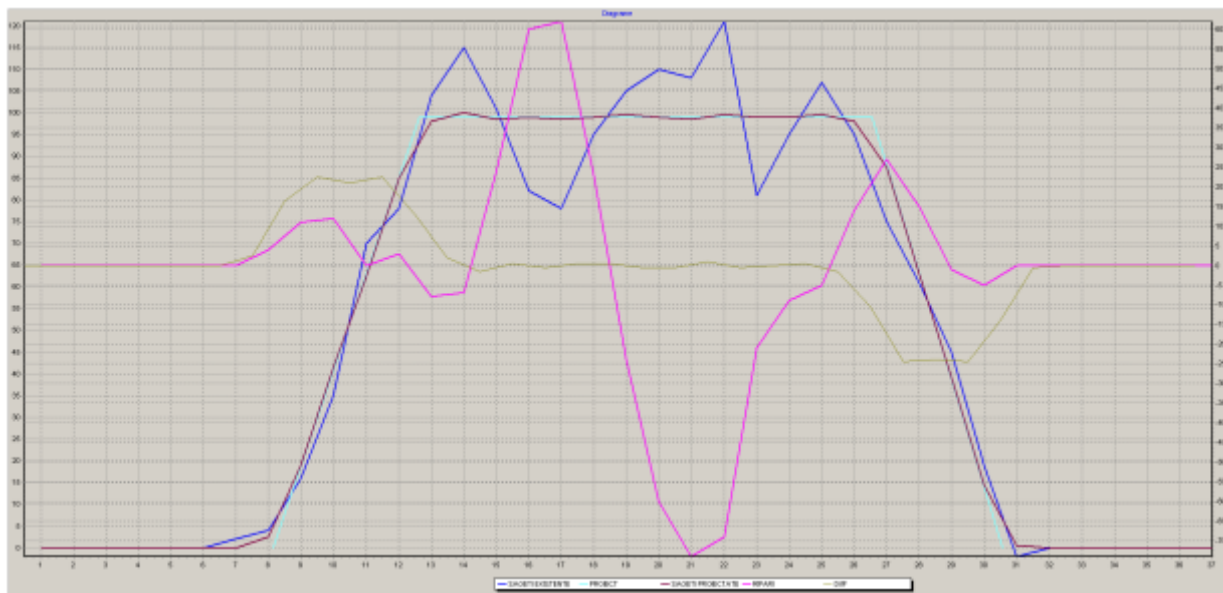
respectiv un panou cu butoane și informații referitoare la curba care urmează să fie retrasată,



fiind disponibile următoarele opțiuni:

- reafișarea diagramelor (în cazul în care s-au efectuat modificări pe foaia „excel”);
- ascunderea / reafișarea fișierului „excel”;
- afișarea valorilor săgeților existente;
- afișarea valorilor săgeților proiectate ideale;
- afișarea valorilor diferențelor între săgețile proiectate vecine;
- modificarea razei curbei circulare și a lungimilor de racordare, cu un pas ce se poate la rândul lui modifica;
- modificarea ripărilor în dreptul săgeților existente, prin ripări succesive, atât cu ajutorul mouse-ului, acționând butoanele marcate cu săgeți (stânga - dreapta, sus - jos) cât și prin activarea tastelor de săgeți de pe tastatură; pentru vizualizarea pichetului a cărui ripare se modifică este prevăzut un marcator vertical (prin bifarea căsuței „Marc\_vertical”); valoarea de modificare a ripărilor poate fi stabilită prin butoanele „\*” „/”;
- calculul prin metoda Cassan cu elementele afișate ale curbei, prin apăsarea butonului „Calcul Cassan”, moment în care sunt afișate graficele ripărilor și a săgeților proiectate

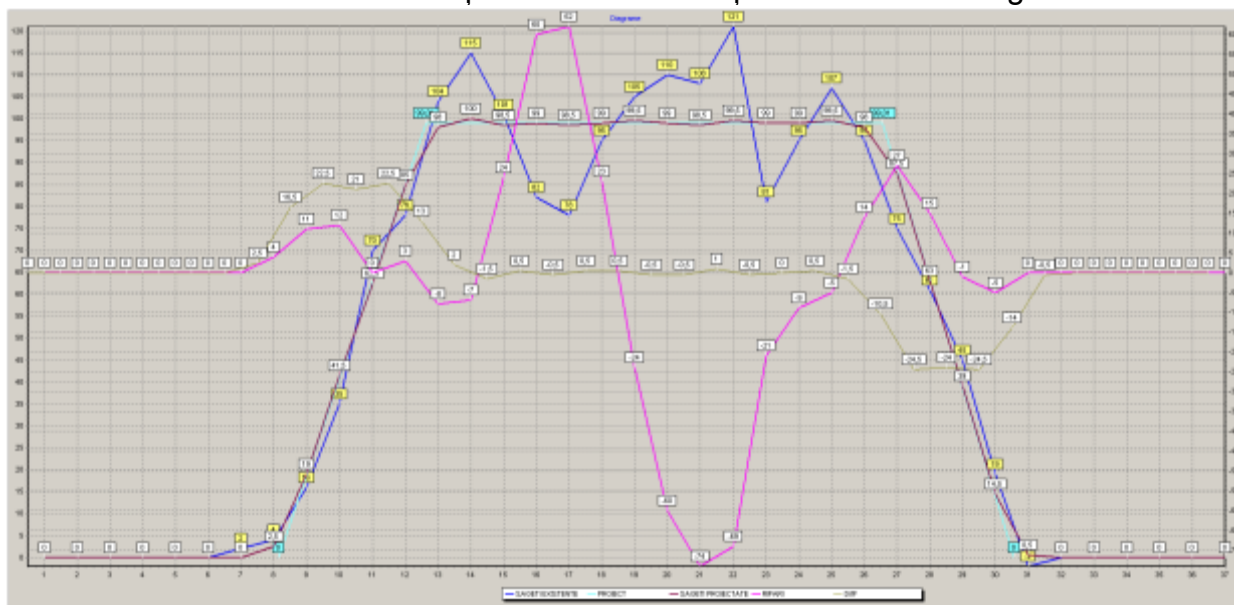
## Teză de doctorat



și sunt disponibile unele opțiuni suplimentare:

Diagrama Fe Ascundere\_Excel Sum. Rip.= -28 D. Rip. M-m = 136  
EXISTENTE PROIECTATE RIP. T Pr Dif  
AFISARE       
VALORI       
Calcul CASSAN  Calcul\_direct Activare taste rip. SUCCESIVE  Mare\_vertical IESIRE [X]  
CONTROL RIP. SUCCESIVE Pas 1  
Salvare in fisier Excel  
L1 R L2  
45.00 505.000 40.00  
1.0000 Sag. pr.= 99.0099  
pc\_CR= 21.661 km\_CR= 205.61  
pc\_RA= 25.561 km\_RA= 245.61

- refacerea calculului de retrasare cu alte elemente (rază și lungimi de racordare); dacă se bifează căsuța „Calcul\_direct”, prin modificarea unui element al curbei se reface în mod automat calculul de retrasare;
  - afișarea valorilor ripărilor;
  - afișarea valorilor săgeților proiectate, obținute în urma aplicării ripărilor;
- Dacă sunt bifate toate căsuțele de valori se obține următoarea diagramă:



Pentru fiecare soluție de retrasare sunt afișate următoarele elemente:

- suma ripărilor („Sum. Rip.=”);
- suma modulelor ripărilor minimă / maximă (D. Rip. M-m=”);
- poziția punctelor principale ale curbei „pc\_” respectiv „km\_” pentru AR, RC, CR, RA;
- valoarea săgeții pe curba circulară („Sag. pr.=”).

Stabilirea soluțiilor optime de retrasare nu se realizează automat ci prin aportul direct al operatorului, în funcție de criteriile impuse curbei: necesitatea sporirii razei și a lungimii curbelor de racordare, limite de gabarit, respectiv puncte obligate etc. Prin modificarea elementelor curbei se poate urmări vizual și intuitiv influența acestora în graficul ripărilor, obținându-se astfel soluțiile optime, în funcție de criteriile impuse.

Se pot aplica ripări succesive și după retrasarea prin metoda Cassan.

Soluțiile de retrasare pot fi salvate prin apăsarea butonului „Salvare în fișier Excel”.

La ieșirea din program, care se poate face prin apăsarea butonului „IEȘIRE [X]” se salvează și fișierul Excel.

Tipărirea rezultatelor se face prin tipărirea foii de excel care se poate „formata” în funcție de necesitate.

#### 4.5. Efectul forțelor la contactul șinei cu buza bandajului

Pentru a studia raportul forțelor orizontale și verticale care acționează asupra osiei în momentul deraierii ei, francezii Soneville și Bentot au realizat un vagon special cu trei osii, denumit *derailleur* (fig. 4.10.).

Osia din mijloc putea fi presată hidraulic de una din firele căii cu o forță determinată. S-a constatat că pentru valori ale unghiului de atac mai mici de  $2^\circ$  nu s-a produs deraierea osiei, dar forța orizontală  $H$  a produs deformarea liniei c.f. în plan orizontal (deriparea căii).

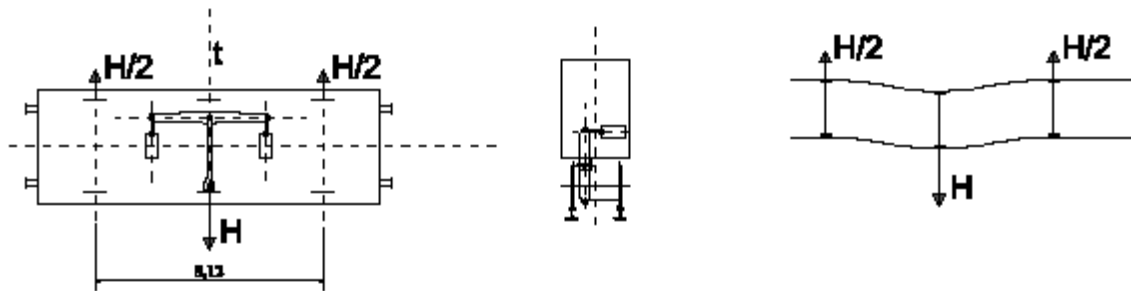


Fig. 4.10. Schema vagonului „derailleur”

Încercări asemănătoare s-au făcut și la MAV (Ungaria). Vagonul avea două boghiuri din care unul blocat în poziție rotită față de axul vertical al boghiului (fig. 4.11.). Vagonul astfel tractat a produs deformația căii, dar în stare încărcată nu a deraiat niciodată. Vagonul gol în schimb a deraiat.

În ambele încercări solicitările măsurate au avut aceleași valoare: forța orizontală  $H$  în cazul sarcinii verticale pe osie  $Q$  la o linie tip 49 obișnuită (cu poza de cca 1330 trav/km) a confirmat relația cunoscută:

$$H = 1 + \frac{Q}{3} \quad [tf] \quad (4.26)$$

Iar raportul între  $H$  și  $Q$  la deraiere a confirmat relația lui Nadal:

$$H = \frac{Q}{2} \quad [tf] \quad (4.27)$$

Cele două expresii se reprezintă într-un sistem de coordonate (fig. 4.12.).

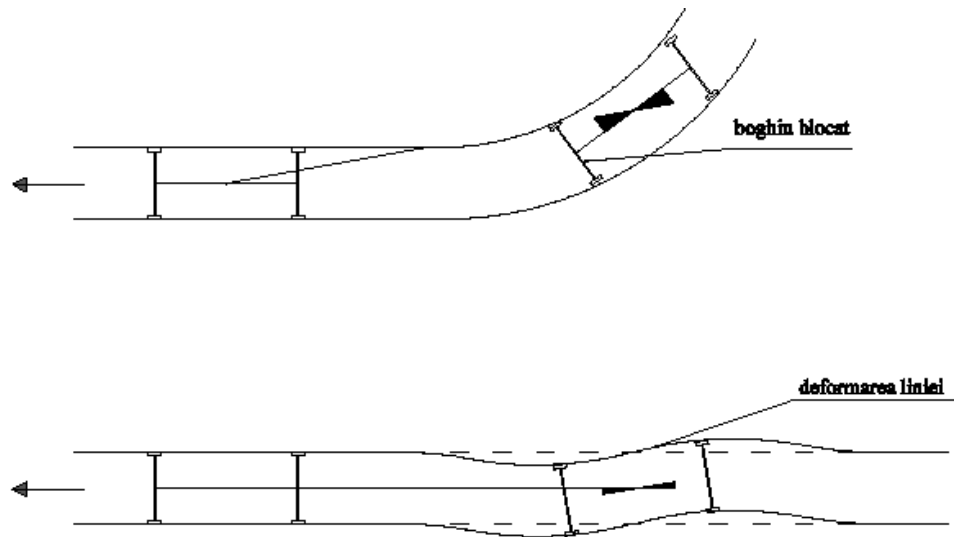


Fig. 4.11. Schema vagonului cu boghiul blocat

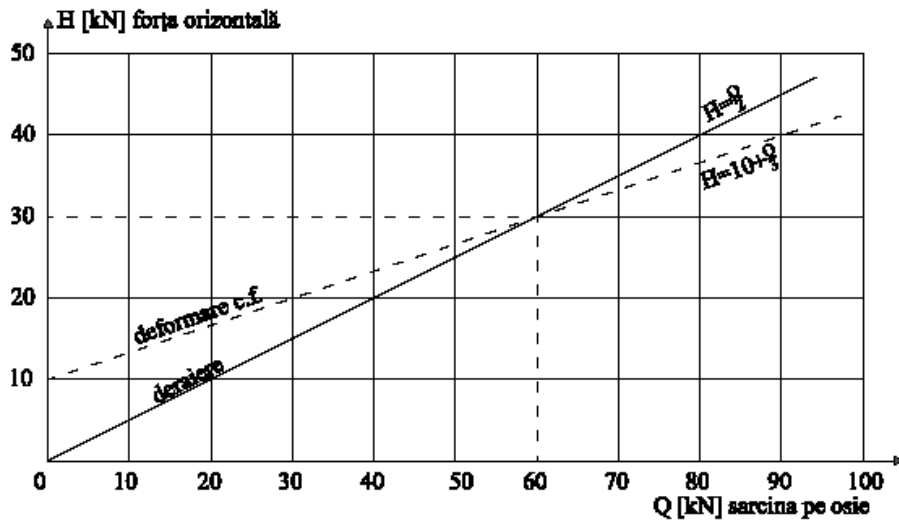


Fig. 4.12. Raportul între forțele  $H$  și  $Q$

Din diagramele prezentate în figura 4.12 rezultă că pentru  $Q > 60$  kN forța orizontală  $H$  produce deformarea căii și nu deraierea vagonului.

- Se poate concluziona că direcția căii ferate se poate deforma din două motive:
- efectul forței de compresiune din șine din cauza creșterii temperaturii (coturi, șerpuire);
  - efectul forței de ghidare.



## Capitolul 5. NOI SOLUȚII PRIVIND REALIZAREA SUPRASTRUCTURILOR LINIILOR URBANE

Așa cum s-a arătat în capitolele precedente, alcătuirea, materialele, tehnologiile de construcție și menținerea, exploatarea liniilor ferate urbane se schimbă, evoluează deosebit de repede. Specialiștii în domeniu sunt provocați să găsească noi soluții pentru căi urbane (și nu numai) viabile, sustenabile, fiabile, dar cât mai ieftine. În acest context vor fi prezentate câteva soluții interesante pentru realizarea suprastructurilor liniilor urbane, soluții la care mi-am adus și eu contribuția. Acestea sunt:

- linii de tramvai vibroabsorbante;
- linii de tramvai „verzi”;
- utilizarea betoanelor armate cu fibre sintetice la realizarea căilor de rulare;
- treceri la nivel pe plăci rigide.

### 5.1. Linii de tramvai vibroabsorbante

În cazul liniilor de cale ferată urbană sau de tramvai înglobate în carosabil sunt necesare soluții tehnice pentru diminuarea vibrațiilor dacă acestea depășesc limitele maxime admise.

Asemenea situații apar și în cazul necesității lățirii părții carosabile (la extinderea traseului căii de rulare a tramvaiului sau dublarea unei linii existente înglobate în carosabil), lățire prin care carosabilul se apropie prea mult de clădirile existente în zonă. Necesitatea diminuării vibrațiilor apare și în zonele istorice, cu clădiri vechi care necesită protecție specială.

Există o serie de soluții aplicate la realizarea liniilor urbane prin care vibrațiile pot fi diminuate. În această carte este prezentată o soluție nouă, aplicată pentru prima oară în anii 2009...2010.

Pe tronsonul proiectat carosabilul (în care urmează a se îngloba calea de rulare) trebuia să fie încadrat de borduri. Protecția împotriva vibrațiilor acționează tridimensional. Grosimea stratului vibroabsorbant înglobat în structura rutieră a fost de 10 mm pe sectorul experimental. Stratul s-a așternut între borduri sub formă de cuvă. Soluția poate fi aplicată doar la structurile rutiere cu strat de bază și suport rigid.

Stratul vibroabsorbant introdus a avut 10 mm grosime, reducerea triaxială a vibrațiilor realizându-se cu valori de 10...25 dB.

Sistemul poate fi realizat și cu grosimi ale stratului vibroabsorbant de 15 sau 20 mm estimându-se reduceri ale vibrațiilor de 20...35 dB. Sistemul poate fi implementat în sectoare de drum, parcări, stații de autobuz sau în pasaje subterane la care se impune reducerea vibrațiilor, în structura garajelor subterane, sub căile ferate urbane.

Tehnologia de punere în operă încă nu a fost mecanizată. Execuția a fost manuală.

Structura proiectată are următoarea alcătuire:

- 16 cm mixturi asfaltice în 3 straturi. ( E2 130 MN/m<sup>2</sup> );
- 20 cm strat de bază din beton C 10(C8/10) ( E2 110 MN/m<sup>2</sup> );
- 1 strat geotextil( protecție mecanică );
- 10 mm strat vibroabsorbant;
- 30 cm strat stabilizat cu ciment CKt-4 ( E2 90 MN/m<sup>2</sup> );
- 25 cm strat de protecție împotriva înghețului ( E2 50 MN/m<sup>2</sup> ).

În cazul unei căi de rulare înglobate în acest carosabil stratul de bază va fi realizat din beton C 20/25 armat, iar mixtura asfaltică va avea grosimea egală cu înălțimea șinelor, inclusiv a prinderii pe placa de beton.

Deflexiunea admisă proiectată a îmbrăcăminte este de 0,55 mm iar sarcina maximă admisă pe osie este de 100 kN.

Ordinea de execuție a structurii rutiere având un strat vibroabsorbant de 10 mm grosime a fost următoarea:

- 30 cm strat stabilizat cu ciment CKt-4 ( E2 90 MN/m<sup>2</sup> );
- 1 strat de adeziv din cauciuc pe bază de apă;
- 1 strat vibroabsorbant din plăci portante așezate manual;
- 2 straturi vibroabsorbante din cauciuc pe bază de apă rezistent la îngheț;
- 1 strat geotextil de protecție;
- 20 cm strat de bază din beton C 10(C8/10);
- 3 straturi de mixturi asfaltice.

Stratul vibroabsorbant a fost introdus între stratul de fundație (stabilizat cu ciment) și stratul de bază(din beton de ciment) și petrecut lateral pe borduri pînă la partea superioară a stratului de uzură. Stratul de bază din beton de ciment C 10 a fost rostuit ulterior turnării la distanțe de 8...10 m. Rosturile au fost colmatate cu mastic elastic și acoperite cu plasă asfaltică.

Soluția tehnică prezentată s-a aplicat efectiv la un drum existent cu trafic exclusiv rutier care va crește de la 60 osii echivalente/zi și bandă de circulație la 2000 osii echivalente/zi și bandă de circulație.

Această creștere a traficului duce la sporirea vibrațiilor și poate dăuna sănătății locuitorilor, mediului și locuințelor din zonă. Lățimea inițială disponibilă a străzii a fost de 16...18 m și nu putea fi sporită iar lungimea drumului proiectat a fost de 470 m.

Înainte de reconstrucție strada avea lățimea de 3,50 m, structură rutieră din mixturi asfaltice și gospodărire subterană (utilități). După reconstrucție axa străzii se află pe mijlocul prospectului stradal iar carosabilul are lățimea 7,00 m.

Carosabilul a fost prevăzut cu strat vibroabsorbant pe toată suprafața ei.

Prin reconstrucția străzii propagarea vibrațiilor între stradă și clădirile de locuințe adiacente s-a modificat semnificativ. Șanțurile existente, care au avut și un rol de diminuare a vibrațiilor, au fost desființate. Noua structură rutieră cu 12 cm de straturi bituminoase, 20 cm strat de bază, strat vibrocalmant și 30 cm strat de fundație stabilizat cu ciment a dus la diminuarea vibrațiilor într-un spectru larg. În obținerea acestor rezultate un rol important l-a avut stratul vibrocalmant inclus în structură.

După reconstrucția drumului valorile vibrațiilor care acționează asupra populației și a clădirilor investigate au fost măsurate și au corespuns prescripțiilor de specialitate.

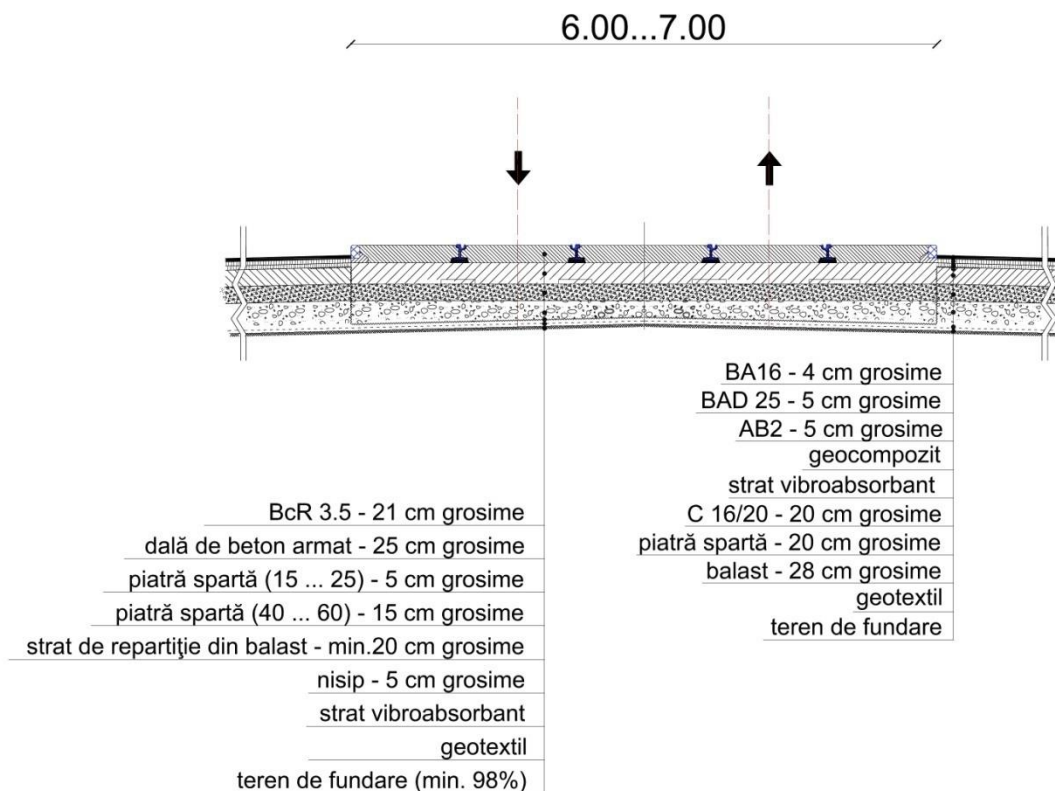
Pe durata efectuării măsurătorilor vremea a fost uscată, fără vânt și cu temperatura de 12°C. În cadrul măsurătorilor au avut loc două serii de investigații. La un tip de investigații au fost efectuate măsurători în paralel în plan vertical și în plan orizontal perpendicular pe axa drumului în câteva puncte pentru determinarea proprietăților de propagare și transmitere a vibrațiilor la trecerea a câte un autovehicul. La al doilea tip de investigații au fost măsurate proprietățile de propagare și transmitere a vibrațiilor concomitent pe direcțiile (X,Y,Z) într-un punct la trecerea a câte un autovehicul. Valorile măsurate au indicat reducerea vibrațiilor cu 10...25 dB.

## Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane

Soluția tehnică prezentată poate fi aplicată și la modernizarea străzilor având căi ferate înglobate în carosabil. Pentru viitor propunem următoarele direcții de dezvoltare:

- implementarea metodologiei de calcul și de proiectare, bazate pe valori experimentale și pe teoria disponibilă, privind protecția la vibrații a diferitelor tipuri de îmbrăcăminte rutieră, a persoanelor și clădirilor din vecinătatea drumurilor, respectiv realizarea unor viitoare structuri rutiere vibrocalmante;
- cercetarea și implementarea soluțiilor vibrocalmatoare ale drumurilor urbane noi, ranforsate, modernizate sau reconstruite având în toată secțiunea transversală structură rigidă, semirigidă sau suplă;
- cercetarea și implementarea unor structuri și materiale vibroabsorbante având în vedere posibilitatea subtraversării acestor drumuri cu conducte și cabluri ale gospodăriei subterane respectiv la introducerea în aceste structuri a conductelor și cablurilor gospodăriei subterane;
- investigarea modalităților de mentenanță, reparație curentă sau capitală ale structurilor și materialelor vibroabsorbante;
- investigarea combinației structurilor de protecție la vibrații și la zgomot .

În continuare este prezentată o propunere de soluție (fig. 5.1) pentru realizarea de linii de tramvai în zone cu front stradal redus, în apropierea unor clădiri de locuit (sau spitale, școli, instituții de cultură etc.), lângă monumente protejate, în locuri unde atât vibrațiile cât și poluarea fonică trebuie diminuate drastic.



**Fig. 5.1. Secțiune transversală printr-o cale de rulare în soluție vibroabsorbantă**

Se poate aprecia, având la bază măsurătorile efectuate la un drum realizat cu o soluție asemănătoare, că vibrațiile vor fi reduse cu până la 30...35 dB.

## 5.2. Linii de tramvai „verzi” sau realizate cu betoane armate cu fibre sintetice

Standardele românești care reglementează proiectarea, construcția și exploatarea liniilor de tramvai sunt în multe cazuri depășite. În continuare sunt prezentate câteva aspecte privind avantajele și dezavantajele utilizării betoanelor armate cu fibre la realizarea dalelor și a longrinelor căilor de rulare respectiv câteva propuneri privind realizarea de linii de tramvai sau de căi ferate urbane înierbate. Datele prezentate în această carte au fost verificate cu ocazia executării unor linii de tramvai în perioada 2009...2011 și pot fi considerate noutăți în domeniu.

În proiectarea și construcția liniilor de tramvai trebuie rezolvate o serie de probleme, cum ar fi:

- îmbunătățirea infrastructurii pornind de la o expertiză geotehnică competentă;
- realizarea de linii "verzi" (înierbate cu gazon natural sau artificial), inclusiv în zona aparatelor de cale și în intersecții, împreună cu sistemul de udare a gazonului;
- alegerea tipului de suprastructură inclusiv a prinderii (ORTEC ISOLAST, CDM, GANTREX, EDILON, SIKA etc.);
- protejarea unor construcții învecinate căii la vibrații, zgomot etc.;
- colectarea, scurgerea și evacuarea apelor pluviale;
- alimentarea liniei de contact;
- instalații de semnalizare, de siguranța circulației, de manevrare a acelor macazelor;
- amplasarea, forma, dimensiunile și aspectul peroanelor;
- dilatarea - contractia șiinelor;
- structura rutieră în zona platformei căii;
- tehnologia de execuție;
- mentenabilitatea și mentenanța;
- durata de viață a construcției proiectate.

În continuare sunt prezentate câteva aspecte privind utilizarea betoanelor armate cu fibre la construcția liniilor de tramvai, respectiv câteva propuneri pentru realizarea de linii de tramvai "verzi".

Betoanele armate cu fibre pot fi utilizate la realizarea plăcilor sau longrinelor, cu sau fără bare de ecartament, indiferent de tipul de șină și de tipul de prindere sau de structura rutieră (dacă linia este înglobată în carosabil).

Utilizarea betoanelor armate cu fibre are o serie de avantaje:

- se elimină coroziunea cauzată de curenții vagabonzi;
- se poate elimina scurtcircuitul între firele căii;
- masa firelor de polietilenă reprezintă 8 ... 12% din masa armăturii iar în cazul fibrelor de oțel acest procent crește la 10 ... 15%;
- se elimină defectele posibile la acoperirea cu beton a armăturii clasice;
- nu mai sunt necesare lucrările legate de pregătirea armăturii și de asigurarea acoperirii cu beton a armăturii de lângă cofraje;
- execuția elementelor din beton armat cu fibre este mai rapidă și mai ieftină;
- sporește durata de viață a structurilor din beton;
- rezistența la solicitări dinamice sporește;

- se îmbunătățește comportarea betonului la dilatare - contracție.

Sunt prezentate în continuare (pentru exemplificare) câteva caracteristici ale fibrelor realizate din olefin modificat:

- lungime fibră: 48 mm;
- rezistență la rupere: 640 MPa;
- cantitate/kg fibră: 59500 buc.;
- greutate specifică: 0,9 ... 0,92 t/m<sup>3</sup>;
- modul E: 10 GPa;
- temperatura de înmuiere: 159 ... 179°C;
- temperatura de aprindere: minim 450°C.

Se menționează că pentru prepararea unui metru cub de beton se utilizează 2,5 ... 10 kg fibre. Sunt cazuri când se poate folosi și armătură clasică în betonul armat cu fibre.

Linii "verzi" (înierbate) au fost realizate în multe țări (și în România). Trebuie menționat de la început că standardele, normativele, reglementările românești nu conțin informații privind liniile ferate înierbate. Acestea sunt proiectate și executate în baza unor caiete de sarcini elaborate de salariați ai unor primării care nu au în mod obligatoriu pregătire de specialitate.

Este de preferat ca investitorul să stabilească clar încă de la elaborarea temei de proiectare parametrii privind condițiile de statică, stabilitate, rezistență, rezistență la foc, transmiterea vibrațiilor, elasticitatea structurii, protecția la curenții vagabonzi, tehnologii de execuție posibile, durabilitate, mentenabilitate, costuri, amortizarea investiției.

În continuare sunt prezentate câteva considerații privind realizarea unei linii de tramvai "verzi" fără a specifica date amănunțite despre locul investiției, furnizori, materiale, tehnologii. Durata de viață impusă liniei a servit pentru stabilirea condițiilor de protecție anticorozivă.

Drenul longitudinal a fost amplasat în axa căii. Lungimea tronsoanelor de longrine a fost limitată la 50 m din condiții de dilatare - contracție parțial împiedecată în ecartul de temperatură de - 30 ... + 40°C. La capetele acestor tronsoane au fost realizate aparate de dilatare. În cazul în care trecerile la nivel pietonale sau pentru cicliști au fost amplasate în zona capetelor acestor tronsoane au fost proiectate și realizate soluții speciale cu structuri glisante.

Trecerile la nivel pentru trafic greu au fost realizate având o placă suport din beton armat peste care s-a turnat un strat de 10 cm de beton armat cu fibre care diminuează apariția și transmiterea fisurilor. Trecerile la nivel au fost separate de drum prin borduri.

La una din intersecții cu trecere la nivel pentru trafic greu, aparate de cale și linie "verde" elementele din beton au fost realizate în exclusivitate din beton armat cu fibre din olefin modificat (cca 5 kg/m<sup>3</sup>), soluție aplicată pentru prima oară în Europa.

Secțiunea transversală a longrinelor depinde de tipul de șină iar distanța dintre antretoaze depinde de raza curbei.

Linia curentă "verde" are longrinele și antretoazele realizate din beton armat obișnuit cu excepția punctelor de amplasare a semnalelor luminoase, respectiv în fața macazelor, unde pe o lungime de 3 m, respectiv 12 m, betonul este armat cu fibre de polietilenă. În aliniamente și în curbele cu raze peste 100 m barele de ecartament au fost dispuse la 2,45 m iar în curbele având raza sub 100 m această distanță a scăzut la 2,0 m.

Calea este fără joante iar evacuarea apelor pluviale se face prin sistemul de canalizare.

Proiectarea și construcția liniilor de tramvai nu este strict reglementată. Din acest motiv inginerii au posibilitatea de a proiecta și implementa soluții noi, inovatoare, de a realiza linii experimentale. Pentru aceasta este necesar a se elabora o temă de proiectare clară și completă. Soluțiile proiectate trebuie să respecte reglementările în vigoare.

### 5.2.1. Utilizarea betoanelor armate cu fibre la liniile de tramvai

Betoanele armate cu fibre sunt utilizate la realizarea pardoselilor industriale, a unor elemente prefabricate și (mai rar) a căii de rulare a tramvaielor. Fibrele utilizate pot fi de oțel sau sintetice.

Fibrele sintetice pot fi [ ]:

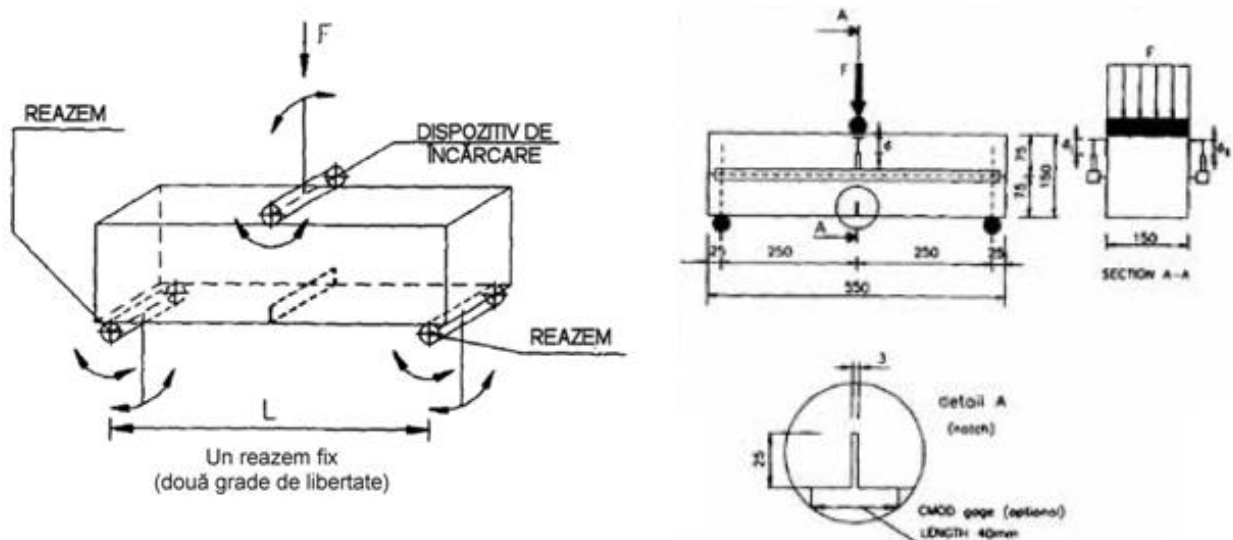
- microfibre, a căror rol principal este împiedicarea formării microfisurilor în procesul de întărire a betonului proaspăt; rolul microfibrelor în sporirea rezistenței betonului este neglijabil;
- macrofibre, a căror rol în sporirea rezistenței betonului este comparabil cu cel al fibrelor de oțel, dacă dozajul lor este corespunzător.

Microfibrele sintetice utilizate pot fi fibrilate sau monofibre, iar macrofibrele sintetice pot fi zimțate, spiralate sau ondulate.

În anul 2012 la laboratorul MAPEI din Budapesta, în cadrul Departamentului de Rezistența Materialelor și Structuri de la Facultatea de Construcții au fost efectuate o serie de încercări având ca scop alegerea corectă a fibrelor de oțel sau sintetice la fabricarea betonului pentru pardoseli, lucrări de artă, placă de beton sau longrine pentru calea de rulare a tramvaielor.

Epruvetele fabricate pentru încercări aveau dimensiunile de 60 x 15 x 15 cm și aveau o amprență cu lățimea de 3 mm și lungimea de 25 mm (la partea inferioară) în partea opusă locului de caționare a solicitării. Betonul utilizat a fost de clasa C 30/37. La prepararea de 1 m<sup>3</sup> beton s-au folosit: 325 kg ciment, 160 kg apă, 799 kg sort 0 ... 4, 342 kg sort 4 ... 8, 418 kg sort 8 ... 16, 342 kg sort 16 ... 24 și 1,30 kg aditiv. Betonul rezultat avea 2387 kg/m<sup>3</sup>.

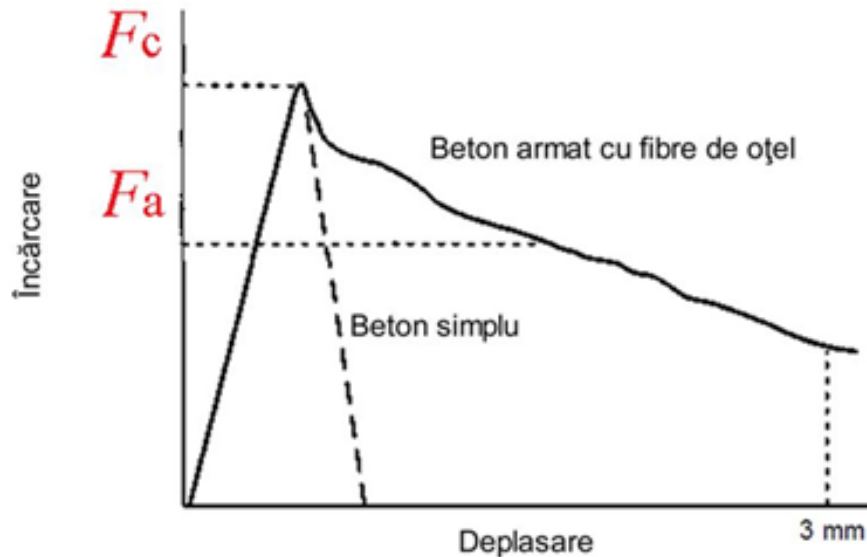
Încercările au fost efectuate în conformitate cu prevederile din [ ] și prezentate în figura 5.2.



**Fig. 5.2.** Schema de încărcare recomandată de RILEM

S-a apreciat că pentru dimensionarea pardoselilor industriale cel mai utilizat este normativul britanic TR 34 (Concrete industrial ground floors – The concrete Society UK, 2003), iar pentru dimensionarea pardoselilor industriale armate cu fibre se poate utiliza valoarea  $R_{e3}$  care este definit în normativul JSCE SF-4 (al Japan Society of Civil Engineers, 1985), astfel (fig. 5.3.):

$$R_{e3} = \frac{F_a}{F_c} \quad [\%] \quad (5.1)$$



**Fig. 5.3.** Determinarea tensiunii după rupere conform normativului JSCE SF-4

În relația (5.1)  $F_a$  reprezintă media tensiunii remanente, iar  $F_c$  este rezistența la întindere din încovoiere.

Prin încercările efectuate au fost construite diagramele forță-săgeată din încovoiere, respectiv forță-deschiderea fisurii (crăpăturii). Cele din urmă (denumite și Force-CMOD, adică Force-Crack Mouth Opening Displacement) sunt preferate deoarece permit o mai exactă definire a diagramei tensiuni-alungire.

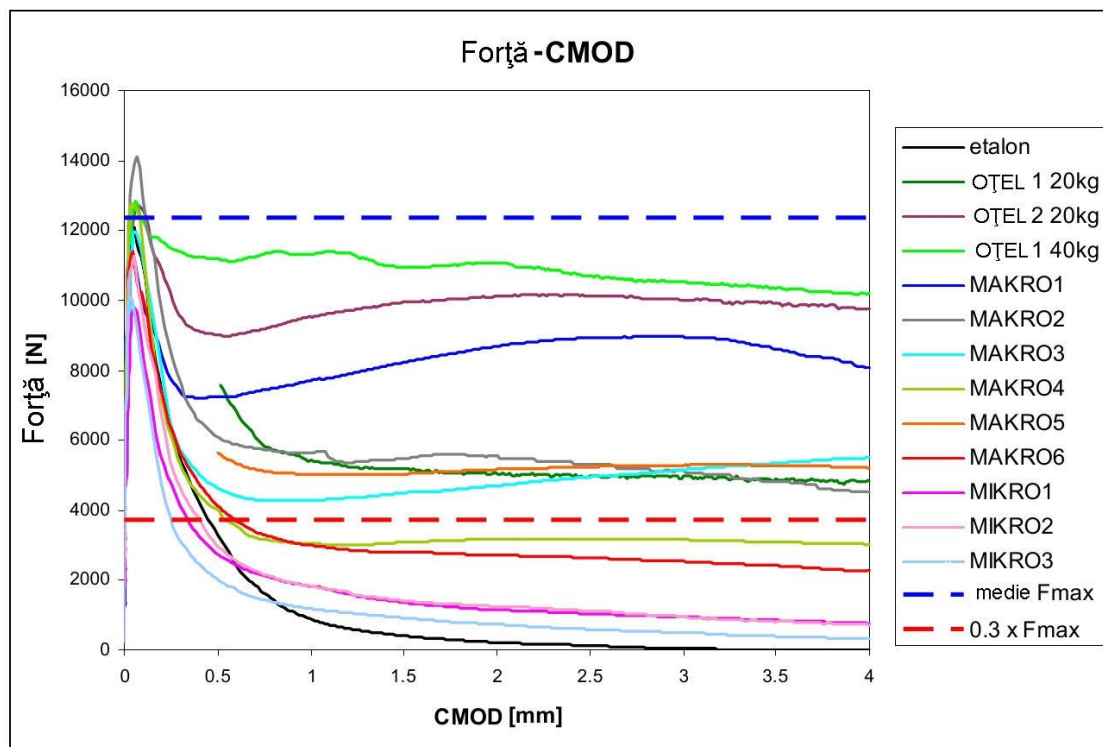
Au fost măsurate ambele valori (săgeata din încovoire și deschiderea fisurii) în cadrul încercărilor.

Încercările de laborator efectuate s-au referit la :

- epruvete etalon (fără fibre);
- epruvete armate cu fibre de oțel, având:
  - a)  $20 \text{ kg/m}^3$  fibre de oțel de 50 mm lungime, 1,1 mm diametru, 3293 buc./kg, capete tip levier;
  - b)  $20 \text{ kg/m}^3$  fibre de oțel de 60 mm lungime, 0,9 mm diametru, 3636 buc./kg, capete tip levier;
  - c)  $40 \text{ kg/m}^3$  fibre de oțel de 50 mm lungime, 1,1 mm diametru, 3293 buc./kg, capete tip levier;
  - d)  $40 \text{ kg/m}^3$  fibre de oțel de 60 mm lungime, 0,9 mm diametru, 3636 buc./kg, capete tip levier;
- epruvete armate cu macrofibre sintetice, având:
  - a)  $5 \text{ kg/m}^3$  macrofibre sintetice (MACRO 1) de propilenă având lungimea de 48 mm, secțiunea ovoidală de  $1,3 \times 0,5 \text{ mm}$ , suprafața amprentată, 60241 buc./kg;
  - b)  $5 \text{ kg/m}^3$  amestec de macro și microfibre sintetice în toroane de 50 mm lungime (MACRO 2); fibrele nu au putut fi dispersate uniform în beton;

- c)  $5 \text{ kg/m}^3$  macrofibre sintetice (MACRO 3) având lungimea de 45 mm, forma ondulată, secțiune tip dreptunghi cu colțuri rotunjite de  $1,3 \times 0,7 \text{ mm}$ , 32258 buc./kg;
- d)  $5 \text{ kg/m}^3$  macrofibre sintetice (MACRO 4) având lungimea de 40 mm, forma ondulată, secțiune tip dreptunghi cu colțuri rotunjite de  $1,2 \times 0,9 \text{ mm}$ , 31250 buc./kg;
- e)  $5 \text{ kg/m}^3$  macrofibre sintetice (MACRO 5) având lungimea de 48 mm, forma ondulată, secțiune dreptunghiulară cu colțuri rotunjite de  $1,1 \times 0,8 \text{ mm}$ , 49505 buc./kg;
- f)  $5 \text{ kg/m}^3$  macrofibre sintetice (MACRO 6) având lungimea de 24 mm, forma ondulată, secțiune dreptunghiulară cu colțuri rotunjite de  $1,2 \times 0,7 \text{ mm}$ , 87719 buc./kg;
- epruvete armate cu microfibre sintetice având:
  - a)  $1 \text{ kg/m}^3$ , lungimea de 19 mm (MICRO 1 și MICRO 2), fibrilate, cu secțiunea aplatizată;
  - b)  $1 \text{ kg/m}^3$  monofibre de 10 mm lungime (MICRO 3), secțiunea circulară.

În diagrama din figura 5.4. sunt prezentate rezultatele tuturor încercărilor efectuate.



**Fig. 5.4.** Diagramele încercărilor efectuate

### Aprecierea rezultatelor obținute

Prima întrebare la care s-a căutat un răspuns a fost cea legată de cantitatea minimă necesară de fibre sintetice. Prevederile, instrucțiunile actuale stabilesc două condiții în legătură cu această problemă:

- necesarul de fibre din punct de vedere geometric;
- necesarul de fibre din punct de vedere al tensiunii remanente impuse.



Prima condiție se poate formula și astfel: presupunând malaxarea uniformă a betonului să nu apară secțiuni de rupere prin care să nu treacă vreo fibră. În acest context trebuie menționat că în cazul încercărilor de rupere în 3 puncte a epruvetelor, ruperea s-a produs întotdeauna în dreptul secțiunii slăbite, iar mărimea forței de rupere depinde de cantitatea de fibre care trece prin această secțiune. În cazul încercărilor în 4 puncte ale aceluiași epruvete (efectuate în conformitate cu instrucțiunile austriece Richtlinie Faserbeton, 2008) între cele două forțe momentul încovoietor este constant, iar ruperea se produce în secțiunea cea mai slabă. Ambele tipuri de încercări au avantaje și dezavantaje, dar valorile din diagramele forță-săgeată (CMOD) pot fi măsurate doar prin încercările la rupere în 3 puncte.

Se constată că rezultatele depind mult de calitatea malaxării betonului, de omogenitate acestuia. Este foarte important ca fibrele sintetice să fie uniform distribuite în masa betonului, în caz contrar rezultatele obținute sunt neconcludente.

Tensiunea remanentă poate fi corect caracterizată prin valoarea  $R_{e3}$ . Normativul britanic TR 34 admite pentru  $R_{e3}$  valoarea de 30% sub care nu este permisă luarea în considerare a rolului fibrelor.

Analizând diagramele din figura ... 4/pag.47/55 se constată că din totalul de fibre studiate cele notate cu MACRO 4, MACRO 6 și MICRO sunt necorespunzătoare.

În legătură cu microfibrele sintetice se poate constata că mulți specialiști acordă importanță exagerată acestora sau subapreciază rolul macrofibrelor. În lumina rezultatelor obținute se poate concluziona că rolul microfibrilor și a unor macrofibre se manifestă în apariția microfisurilor, iar rolul lor după producerea fisurării este neglijabil.

Pornind de la ideea că orice crăpătură are la origine o microfisură se poate presupune că și microfibrele au un anumit rol în sporirea rezistenței la întindere din încovoiere, chiar dacă încercările efectuate nu au demonstrat această presupunere. Mai mult, în cazul epruvetelor din beton armat cu microfibre forța de rupere a fost mai mică decât în cazul epruvetelor din beton simplu.

În acest context s-a putut formula următoarea concluzie: deși microfibrele ajută la apariția microfisurilor în cazul betonului proaspăt, diminuează rezistența aceluiași beton în timp.

Pentru a lămurii această problemă sunt necesare noi încercări.

În baza rezultatelor obținute pot fi trase concluzii pentru alegerea cât mai corectă a tipului de fibre și a conținutului de fibre în prepararea unui m<sup>3</sup> de beton. Rezultatele obținute la utilizarea a 5 kg de macrofibre pentru 1 m<sup>3</sup> beton (MACRO 1 ... 6) depind de volumul total al macrofibrelor, numărul total și lungimea totală a acestora, deci nu pot fi considerate univoce. Rezultă că înlocuirea unui tip de macrofibră cu alt tip se poate face doar în urma unor analize și încercări suplimentare.

În lumina rezultatelor obținute se pot concluziona următoarele:

- cantitatea necesară de macrofibre sintetice (chiar și a fibrelor de oțel) este inferioară cantității de armătură clasică pentru elementele de beton armat;
- rolul principal al fibrelor sintetice este de a preveni formarea și dezvoltarea fisurilor și a crăpăturilor;
- rezultatele optime se obțin în cazul pardoselilor industriale și a dalelor pentru căile de rulare ale tramvaielor;
- rezultate bune se obțin în cazul prefabricatelor la care armarea se face constructiv.

Utilizarea dalelor armate cu macrofibre sintetice pentru linii de tramvai se recomandă în zona aparatelor de cale acționate electrodinamic, pentru a preveni funcționarea greșită sau chiar nefuncționarea acestora.

Macrofibrele sintetice au o serie de avantaje față de fibrele de oțel:

- au greutate mai mică, implicit cheltuielile de transport și manipulare se reduc;
- nu produc stricăciuni malaxorului în timpul preparării betonului;
- tendință minimală de concentrare a fibrelor sintetice (de formare a unor „ghemuri”, „mingi” de fibre) față de fibrele de oțel care prezintă „ghemuri” în cazul dozajelor de peste 20 kg/m<sup>3</sup> beton;
- se constată că macrofibrele din eventualele „ghemuri” formate se dispersează la vibrarea betonului;
- betonul armat cu macrofibre sintetice poate fi pompat spre deosebire de cel armat cu fibre de oțel a cărui pompare este refuzată de firme în cazul unui dozaj de peste 30 kg/m<sup>3</sup> beton;
- rezistă bine la coroziune;
- ductibilitatea rămâne constantă în timp.

Dezavantajele macrofibrelor în comparație cu fibrele din oțel sunt:

- materialul este elasto-plastic;
- temperatura de topire este doar 165°C (față de 1500°C);
- modulul Young este de 3 ... 10 Gpa (față de 210 GPa);
- rezistența la întindere este de 200 ... 600 Mpa (față de 500 ... 2000 MPa).

Sunt prezentate în continuare câteva utilizări ale betoanelor armate cu macrofibre sintetice:

- liniile de tramvai din Szeged, Sankt Petersburg etc.;
- rezervoare pentru apă potabilă sau apă de ploaie în Molloy Precast, Irlanda;
- tuneluri (Austria, Germania etc.);
- drumuri (Austria, Marea Britanie, Germania etc.).

## Studiu de caz

Prima linie de tramvai înierbată pe placă de beton armat cu macrofibre sintetice a fost realizată la Szeged [ ]. Acest capitol reprezintă traducerea selectivă a lucrării [ ] și câteva comentarii și observații legate de tematica abordată.

Investițiile în transporturile în comun finanțate cu fonduri europene au ca țintă dezvoltarea mobilității, protecția mediului, sporirea confortului călătorilor și a siguranței circulației, precum și diminuarea continuă a circulației cu autoturismele personale.

Transportul în comun, implicit dezvoltarea transportului cu tramvaiul, modernizarea liniilor de tramvai au devenit probleme vitale în viața marilor orașe. Nu este importantă doar simpla existență a liniilor de tramvai. Sunt la fel de importante raportul cost-calitate, soluțiile tehnice și tehnologiile utilizate, actualitatea soluțiilor, costurile minime de întreținere și exploatare, durabilitatea, calitatea și siguranța în exploatare.

Proiectanții, constructorii, specialiștii în general, au sarcina importantă de a încadra cât mai bine linia de tramvai în mediul înconjurător (specific unor aglomerări urbane), lucrarea să aibă „amprentă ecologică” vizibilă, să diminueze cât mai mult prin soluțiile propuse efectele negative posibile asupra schimbărilor climatice, încălzirii globale, secetei, dar și asupra publicului călător, respectiv asupra construcțiilor, inclusiv asupra căii de rulare.

## Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane

Scopul principal al lucrării [ ], (dar și al altor lucrări [ ], [ ] etc.) a fost ca experiența, cunoștințele, informațiile deținute de autori să fie puse la dispoziția investitorilor, proiectanților, constructorilor, utilizatorilor de linii de tramvai.

Linile de tramvai înierbate nu mai reprezintă o noutate, ele fiind realizate în Europa de cca 20 de ani. Aspectul lor natural, proaspăt are o serie de avantaje:

- vegetația reține praful și minimizează poluarea fonică și vibrațiile;
- suprafața înierbată, vie, sporește umiditatea aerului și diminuează senzația de căldură;
- sub protecția terenului înierbat nici suprastructura căii de rulare (în special șinele) nu se încălzește excesiv, dilatarea șinelor și a plăcilor sau longrinelor de beton scade și scad în consecință și solicitările asupra suprastructurii;
- scade cantitatea și intensitatea razelor solare reflectate, cu efecte pozitive asupra publicului călător.

În imaginile următoare (figura 5.5.) sunt prezentate etapele de realizare a unei linii de tramvai „verzi”. Soluția a fost propusă pentru reabilitarea unor tronsoane de cale de rulare la Timișoara.









## Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane









*Fig. 5.5. Etape de realizare a unei linii înierbate*

### 5.3. Treceți la nivel pe plăci rigide

Trecețile la nivel reprezintă zone de conflict la intersecția a două căi de comunicații terestre: drum și cale ferată.

Soluțiile clasice sau moderne de realizare a treceților la nivel (cu contrașine, cu paval, cu dale din beton armat, cu plăci elastice cu cauciuc tip STRAIL, plăci BODAN etc.) nu pot fi aplicate în cazul liniilor urbane, în special a celor de tramvai. În continuare va fi prezentată o soluție relativ nouă de trecere la nivel cu linie de tramvai având ecartament îngust (1000 mm) care a fost utilizată în cca 30 locații din mun. Arad la reabilitarea și modernizarea liniilor de tramvai în perioada 2009...2012.

Soluția tehnică propusă și realizată este:

- infrastructura:
- suprastructura:

Înainte de a dimensiona placa din beton am analizat o serie de treceți la nivel existente care prezentau degradări la nivelul părții carosabile, dar și o serie de deformații ale geometriei căii de rulare. În consecință, am ales pentru dimensionare încărcările cele mai defavorabile.

În continuare este prezentată (pentru exemplificare) dimensionarea unei dale de 6 m x 7 m, încărcările luate în calcul fiind de 75 kN/m sarcină uniform distribuită pentru cale de rulare a tramvaiului și două solicitări concentrate de 120 kN/osie la 160 cm distanță, aferente unui autocamion din convoiul A30. Coeficientul dinamic considerat este  $\rho = 1,5$ .

### 5.3.1. Evaluarea stării de eforturi și deformații ale plăcii de beton

Pentru analiza stării de eforturi și deformații ale plăcii de beton s-a folosit Metoda elementelor finite. Pentru această analiză s-a luat în considerare numai o placă cu dimensiunile de 6,00m x 7,00m.

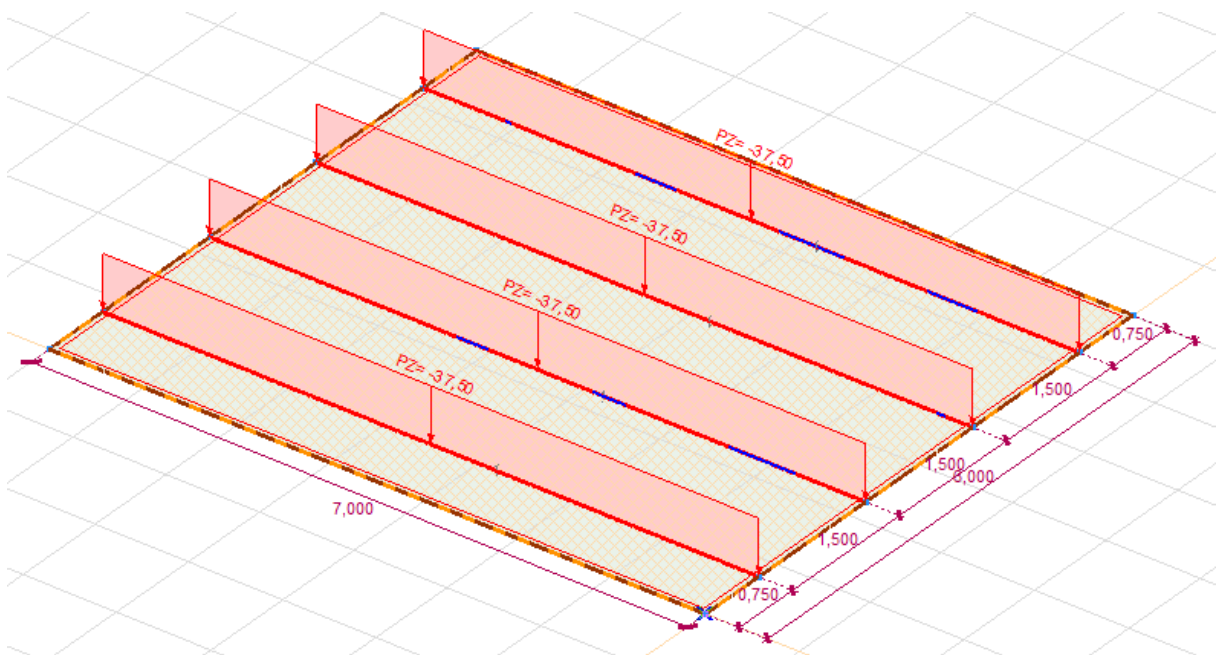
În programul AxisVM 12 [Structural analysis and design software for civil engineers. ConSoft] modelarea a fost concepută dintr-un singur domeniu (placa de beton armat). Elementele finite au forma geometrică triunghiulară. Întreaga placă de beton armat a fost modelată ca și placă pe mediul elastic de tip Winkler, pentru aceasta folosindu-se reazem de suprafață. Modelul Winkler are la bază ipoteza contactului permanent între placă și teren și faptul că sub acțiunea încărcărilor, deformațiile terenului în toate punctele de pe suprafața de contact sunt proporționale cu deformațiile plăcii, factorul de proporționalitate fiind coeficientul de pat  $k_s$ . Coeficientul de pat  $k_s$  luat în calcul este de 5 daN/cm<sup>3</sup>.

Analiza a fost efectuată în două etape:

- etapa 1 atunci când s-a luat în calcul prezența a două tramvaie în același timp pe placă;
- etapa 2 atunci când s-a luat în calcul prezența a două camioane de tip A30, cu cele două osii din spate în același timp pe placă.

#### **Etapa 1 – prezența tramvaielor pe placă**

Pentru calcul s-au introdus greutatea celor două tramvaie sub forma de încărcări uniform distribuite astfel:



**Fig.5.6.** Discretizarea modelului în AxisVM



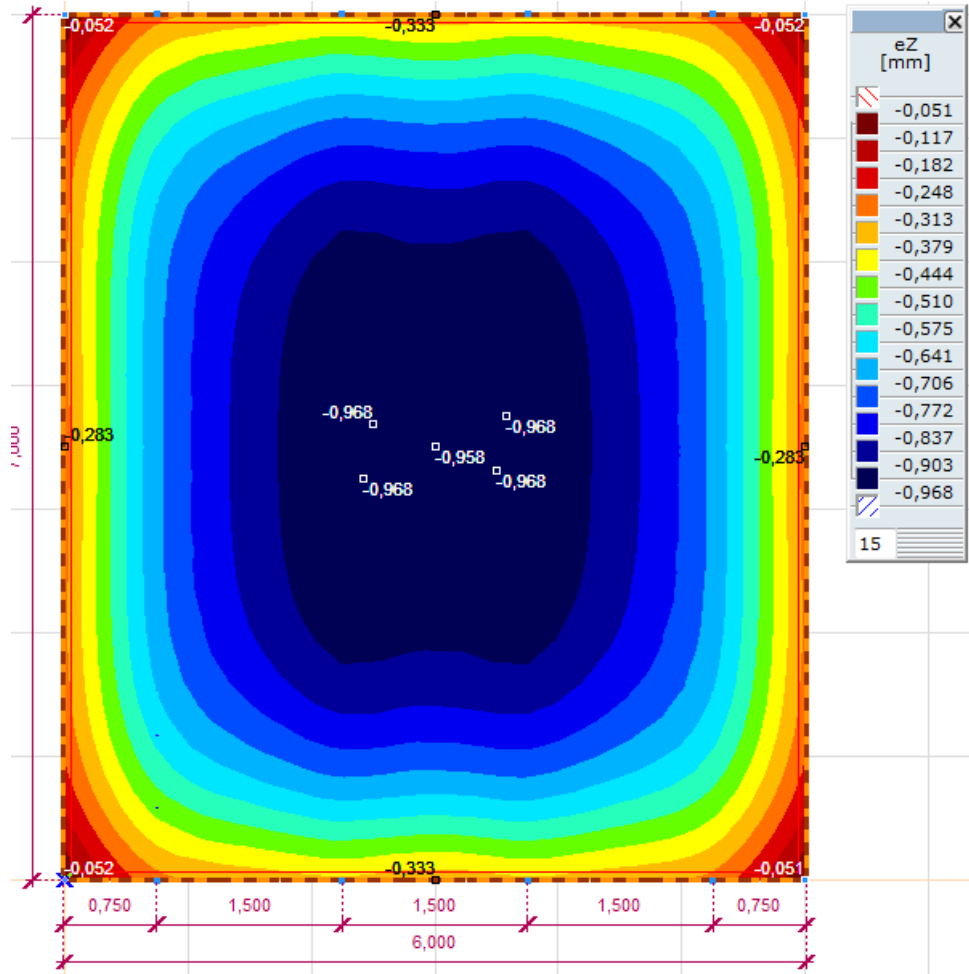


Fig.5.7. Deplasarea pe verticală

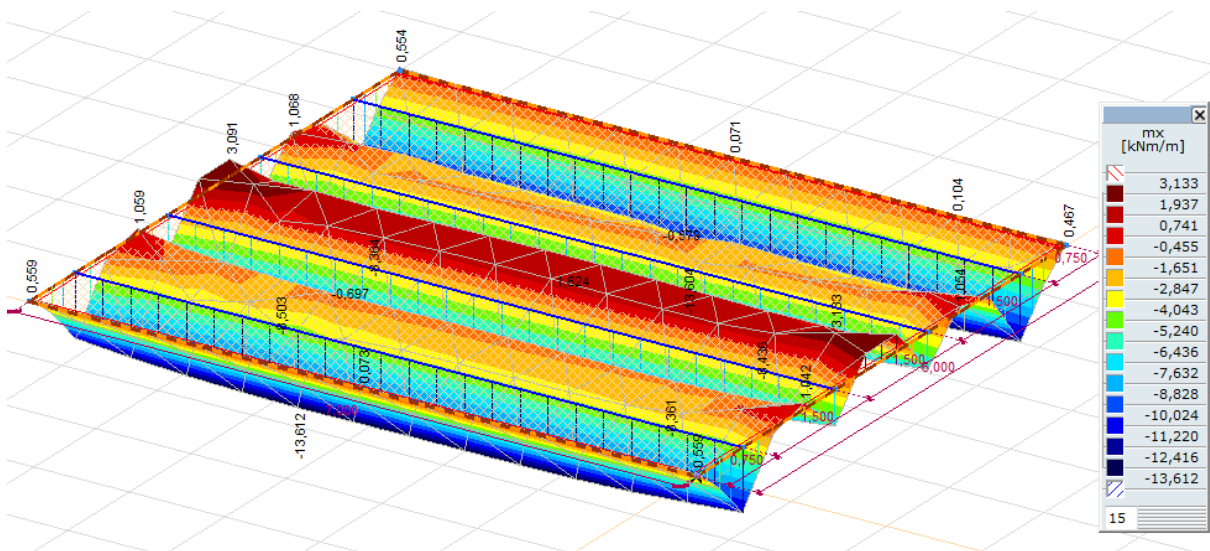
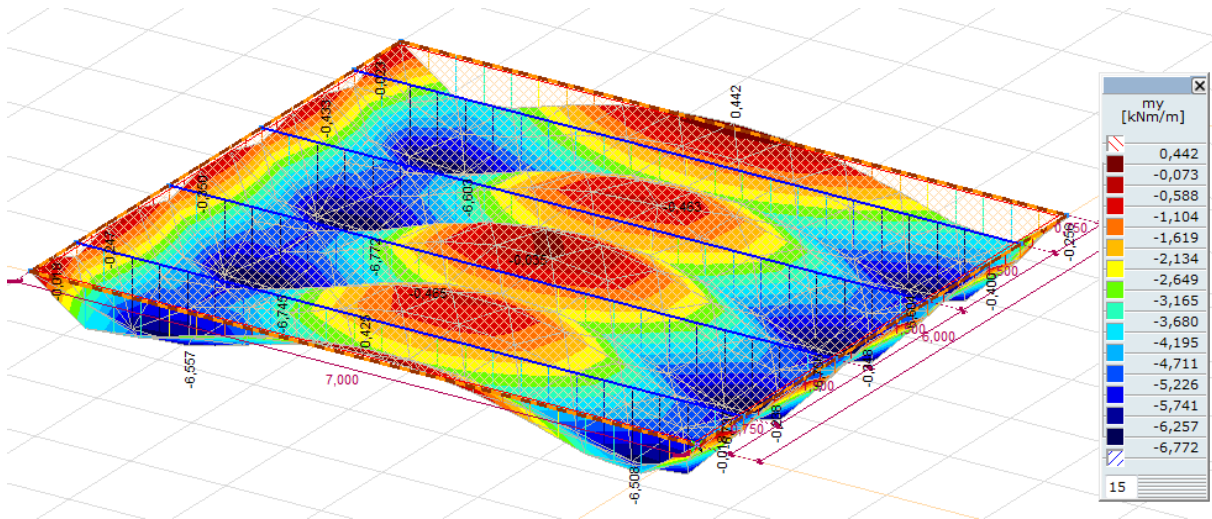


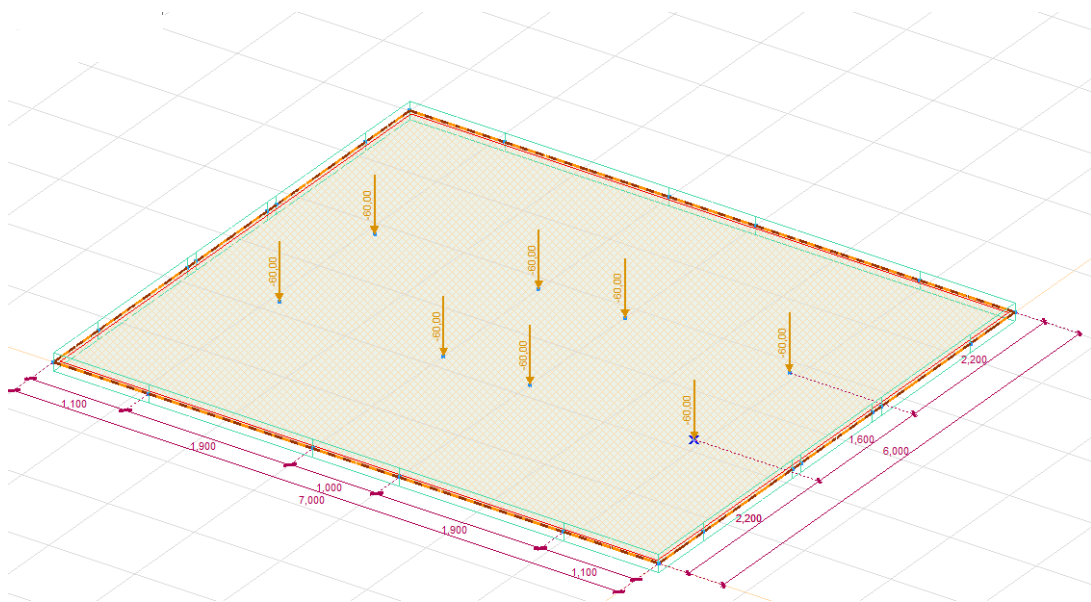
Fig.5.8. Momentele încovoietoare pe direcția X



*Fig.5.9. Momentele încovoietoare pe direcția Y*

### **Etapa 2 – prezenta camioanelor pe placă**

Pentru calcul s-au introdus greutatea celor două camioane sub formă de încărcări concentrate în dreptul roților corespunzătoare osiilor din spate astfel:



*Fig.5.10. Discretizarea modelului în AxisVM*

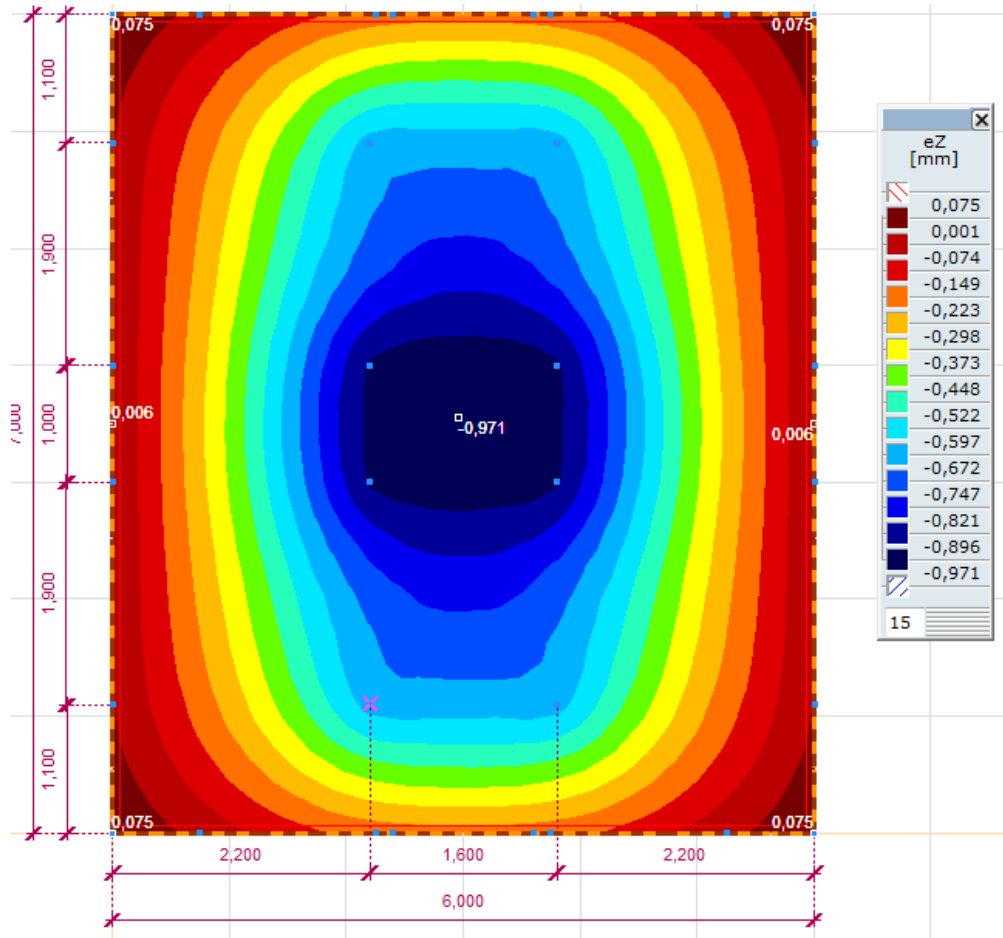


Fig.5.11. Deplasarea pe verticală

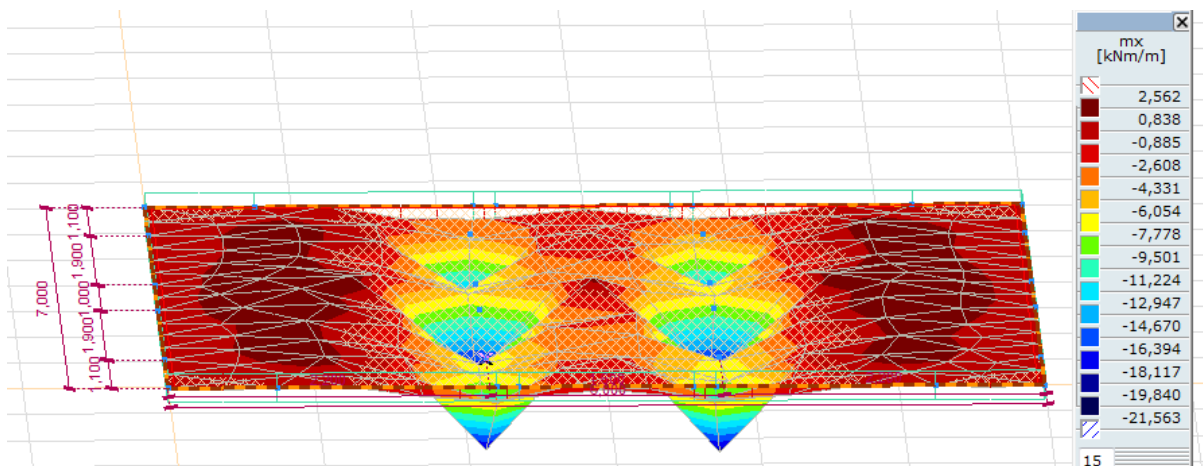


Fig.5.12. Momentele încovoietoare pe direcția X

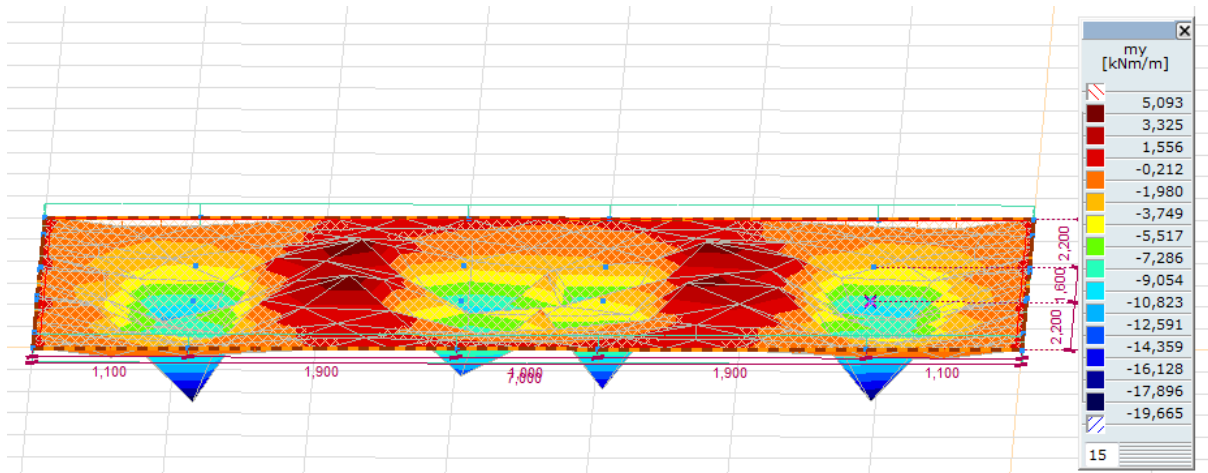


Fig.5.13. Momentele încovoietoare pe direcția Y

### Dimensionarea armăturilor

$$l_1 := 6\text{m}$$

dimensiunile ochiului de placa

$$l_2 := 7\text{m}$$

$$M_{1c} := 21.6\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{1r} := 2.6\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$h_o := 20\text{cm} - 3\text{cm} = 17\text{cm}$$

$$b := 1\text{m}$$

$$f_{ck} := 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \gamma_c := 1.2$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20.833 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{*rezistenta de calcul a betonului}$$

$$f_{yk} := 345 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 300 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{*rezistenta de calcul a otelului}$$

$$m_{1c} := \frac{M_{1c}}{b \cdot h_o^2 \cdot f_{cd}} = 0.036$$

$$\xi_{1c} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot m_{1c}} = 0.037$$

$$A_{alc} := \xi_{1c} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h_o = 4.314 \cdot \text{cm}^2$$

+

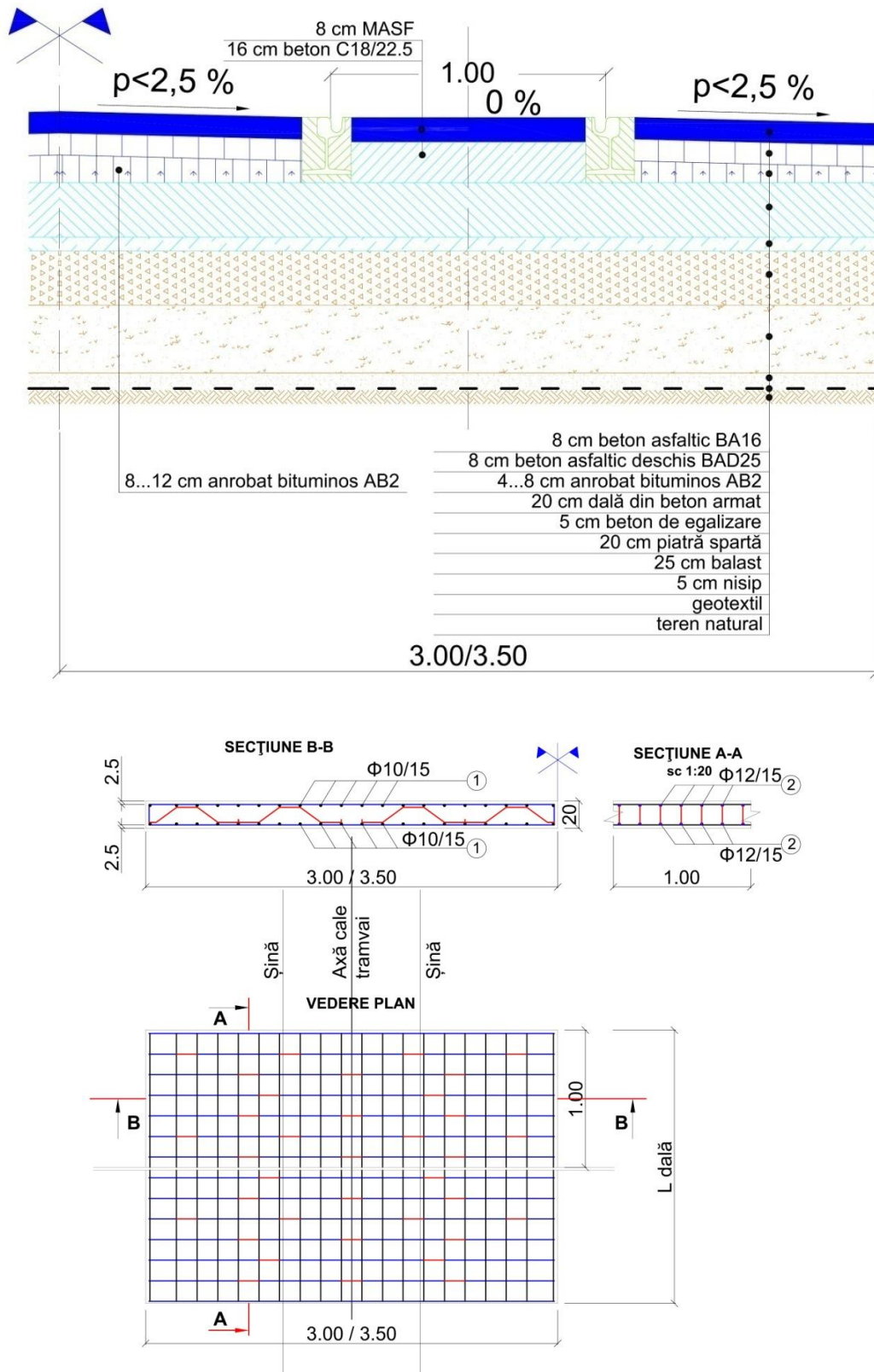
$$m_{1r} := \frac{M_{1r}}{b \cdot h_o^2 \cdot f_{cd}} = 4.318 \times 10^{-3}$$

$$\xi_{1r} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot m_{1r}} = 4.328 \times 10^{-3}$$

$$A_{alr} := \xi_{1r} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h_o = 0.511 \cdot \text{cm}^2$$

## Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane

În planșa următoare (fig. 5.14.) este prezentată armarea dalei din beton utilizată la trecerile la nivel din mun. Arad.



**Fig. 5.14.** Armarea dalei din beton utilizată la trecerile la nivel din mun. Arad



## Capitolul 6. MĂSURĂTORI EFECTUATE LA CĂILE DE TRANSPORT URBANE

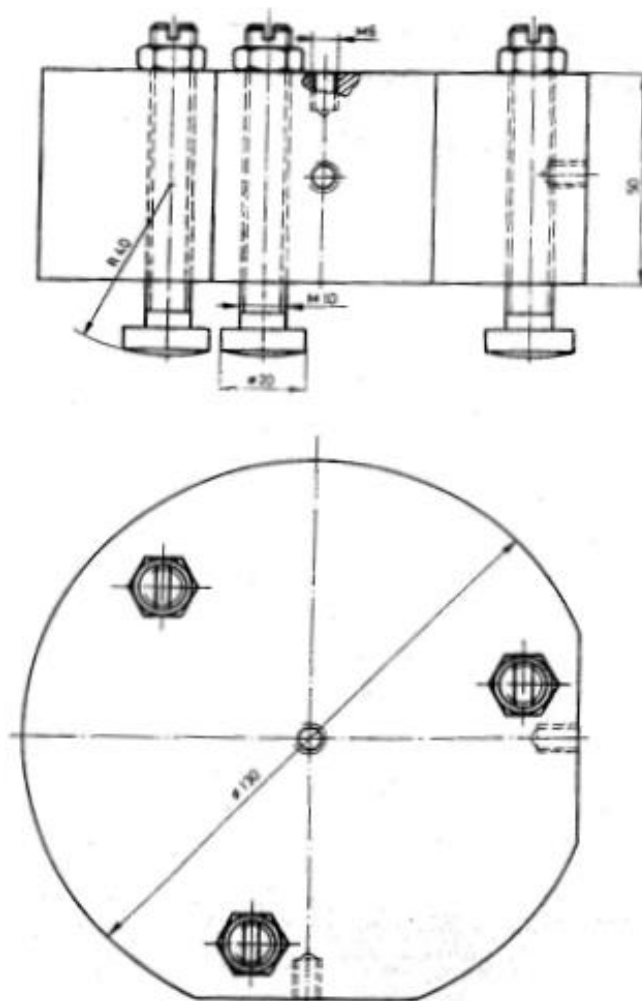
### 6.1. Măsurători de vibrații efectuate în orașul Jula

Măsurătorile au fost efectuate înainte și după reabilitarea străzii în aceleași puncte de măsurare, în aceleași condiții, cu aceleași aparate de măsurare.

Scopul măsurătorilor efectuate a fost atât stabilirea cât mai exactă a intensității vibrațiilor în condiții de trafic redus, respectiv trafic intens, dar și a efectului absorbant al materialelor utilizate pentru a putea alege soluția optimă în reducerea vibrațiilor.

Sondajele geotehnice au arătat că pământul în zona de interes este loes și local argilă.

Senzorii de vibrații au fost amplasați conform normativului MSZ 18163-2:1998 cu elemente de fixare din oțel (fig. 6.1.).



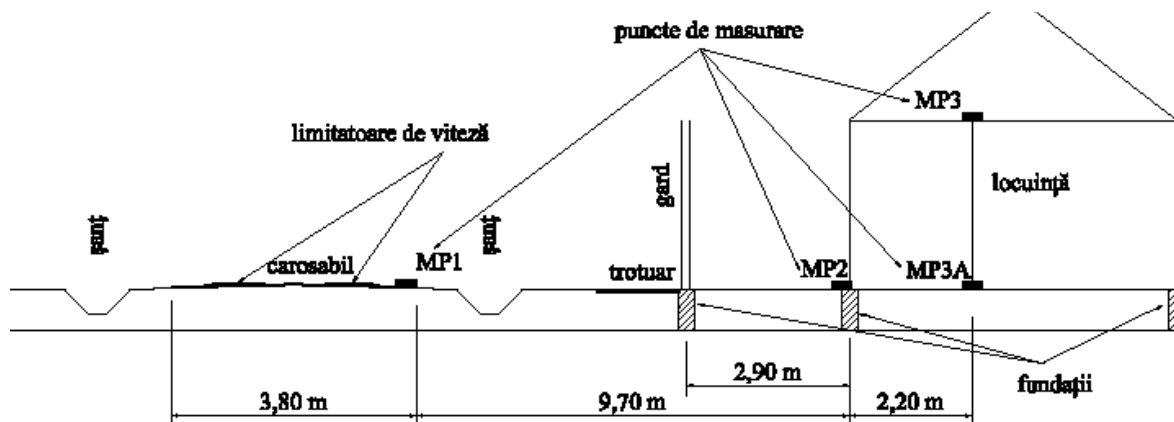
**Fig. 6.1.** Elemente din oțel pentru fixarea senzorilor de vibrații

Vibrațiile au fost provocate de către autocamion, respectiv autoturisme care au trecut peste limitatoare de viteză. Punctele de măsurare au fost alese astfel:

- pentru vibrațiile provocate de autocamion (fig. 6.2.):
  - la marginea carosabilului (punctul MP1);
  - la fundația clădirii în dreptul ușii de la intrare (punctul MP2);

## Măsurători efectuate la căile de transport urbane

- pe pardoseala de la parter (punctul MP3A);
  - pe planșeu (punctul MP3).
- pentru vibrațiile generate de autoturism (VW Bora), pe pardoselala de la parter.



**Fig. 6.2.** Puncte de măsurare a vibrațiilor

Măsurătorile au fost efectuate în data de 24...25 iulie 2008, pe o vreme uscată, fără vânt, cu temperatura aerului de 21...24°C cu instrumentele societății comerciale BP-VIBROAKUSZTIKA sub coordonarea ing. Beke Peter.

Au fost efectuate două seturi de măsurători:

- în punctele MP1, MP2 și MP3A au fost măsurate în paralel propagarea vibrațiilor și transferul vibrațiilor în direcția verticală (Z);
- în punctele MP3 și MP4 au fost măsurate accelerațiile provocate de vibrații simultan în cele trei direcții (x, y, z) la trecerea vehiculelor.

Instrumentele de măsurare utilizate au fost:

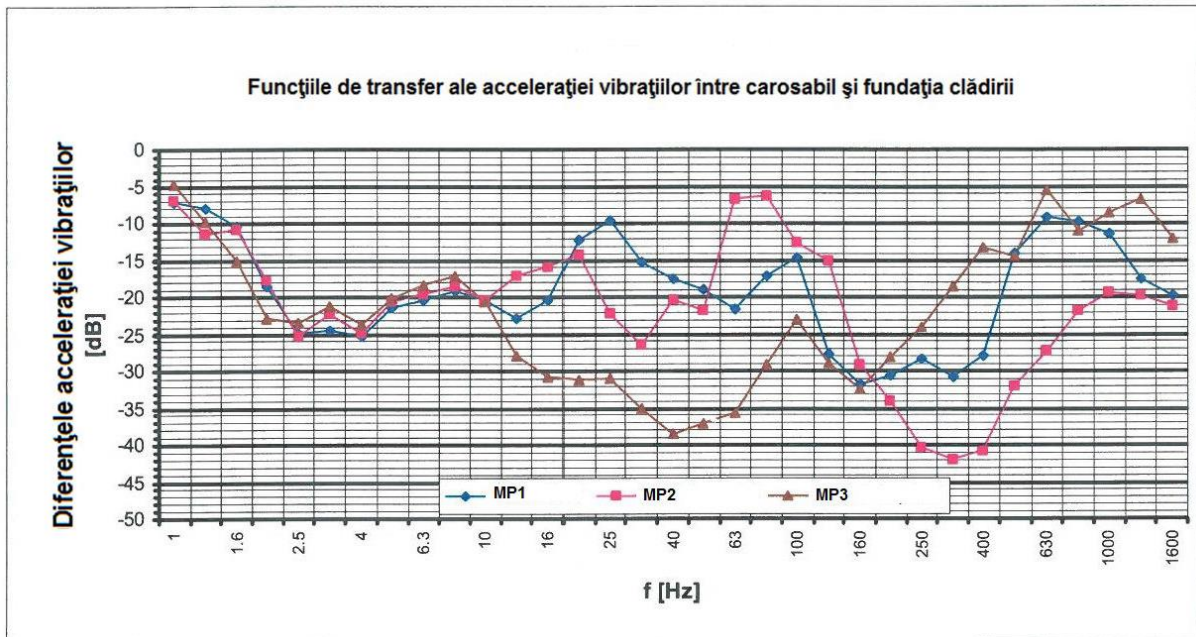
- instrument de măsurare a vibrațiilor tip Brüel & Kjaer 2511;
- senzor de accelerație tip Brüel & Kjaer 4370;
- colector date tip NI9233 + LabView Sound and Vibration Modul;
- calibrator vibrații electrodinamic tip RFT 11032;
- calibrator acustic tip CEL 177;
- radar (pentru viteză) tip D-1.

Pentru a putea aprecia corect propagarea vibrațiilor pe verticală în cele trei puncte, dar și influența acestor vibrații asupra clădirii, măsurătorile au fost efectuate simultan în aceste puncte, de fiecare dată ca urmare a trecerii a câte 10 autocamioane IFA W150LA peste limitatorul de viteză. Viteza medie a fost de 22,1 km/h (viteze măsurate de 17...26 km/h). La fiecare trecere a fost realizat automat spectrul accelerației vibrației, rezultatele prezentate fiind mediile logaritmice ale măsurătorilor.

În cazul măsurătorilor efectuate în celelalte două puncte (MP3 și MP4) viteza medie a fost de 24,2 km/h ( $v=22...26$  km/h).

Valorile maxime la nivelul superior al carosabilului sunt în intervalele de frecvențe de 8...10 Hz și 200...400 Hz, în dreptul fundațiilor valorile maxime se găsesc în intervalele 8...10 Hz, 80...100 Hz și 400...500 Hz, iar la parter accelerația vibrației prezintă valori maxime în intervalele 8...25 Hz și 80...100 Hz. La etaj valorile maxime se află în intervalele 8...20 Hz și 63...125 Hz.

În figura 6.3. sunt prezentate funcțiile de transfer între partea carosabilă și clădire. Diagramele arată cu cât scade nivelul vibrațiilor în clădire față de valoarea vibrațiilor la nivelul părții carosabile.



**Fig. 6.3.** Funcțiile de transfer ale nivelului vibrațiilor între partea carosabilă și clădire

Valorile vitezei de propagare a vibrațiilor măsurate în mm/s și reprezentate în funcție de frecvență [Hz] permit aprecierea influenței acestora asupra clădirilor. În tabelul 6.1. sunt prezentate valorile admise (recomandate) ale vitezei de propagare a vibrațiilor de scurtă durată [mm/s].

Din tabelul de mai jos rezultă că în cazul clădirilor industriale și a celor de locuit vibrațiile care se propagă orizontal cu 5 mm/s nu produc pagube care să diminueze valoarea de întrebuințare a acestora (fisuri, crăpături etc.). Tipul clădirii se stabilește de către un expert în statica construcțiilor.

**Tabelul 6.1.** Valorile admise ale vitezei de propagare a vibrațiilor

Nr. Crt.	Tipul clădirii	Viteza admisă de propagare a vibrației [mm/s]			Orizontal, orice frecvență, la planșeul ultimului etaj
		în dreptul fundației, dacă			
		<10	10...50	50...100	
Frecvența [Hz]					
1	Clădiri industriale sau similar	20	20...40	40...50	40
2	Clădiri de locuit sau similar	5	5...15	15...20	15
3	Clădiri de patrimoniu sau alte construcții care necesită protecție specială	3	3...8	8...10	8
4	Clădiri neconforme cu standardele în vigoare, din punct de vedere al staticii, rezistenței și stabilității	Pe bază de expertiză de specialitate			



## Măsurători efectuate la căile de transport urbane

Din diagramele rezultate în urma măsurătorilor efectuate a rezultat că viteza maximă de propagare a vibrațiilor apare la 8 Hz, iar valorile sunt prezentate în tabelul 6.2.

**Tabelul 6.2. Viteza maximă de propagare a vibrațiilor**

Locul măsurării vibrațiilor	Viteza maximă de propagare a vibrației pe verticală (z) la frecvența de 8 Hz, în mm/s	
	Valorile medii ale măsurătorilor la parter	Valorile medii ale măsurătorilor la etaj
Parte carosabilă	1,05	1,59
Fundații	0,14	0,22
Pardosea, planșeu	0,12	0,19

Au fost analizate efectele vibrațiilor asupra oamenilor, atât a vibrațiilor cauzate de autocamioane care trec peste limitatoarele de citeză, cât și a celor provocate de traficul rutier urban obișnuit. Verificările s-au referit la planșeu (MP3) în cazul traficului cu autocamioane și limitator de viteză, respectiv la parterul aceleiași clădiri (MP3A) în cazul traficului normal. Diagramele obținute prezintă valorile maxime ale accelerațiilor, valorile medii logaritmice, valorile maxime ale accelerației vibrațiilor pe direcțiile măsurate. Viteza de circulație a vehiculelor utilizate a fost de 25...30 km/h.

Reamintind că direcția X este cea paralelă cu axa străzii, direcția Y este perpendiculară pe axa străzii, iar direcția Z este verticală, rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 6.3.

**Tabelul 6.3. Accelerația maximă a vibrațiilor**

Spectrul complet al valorilor accelerației vibrației pe direcții de măsurare				
Punct de măsurare	Sursa vibrației	Accelerația maximă a vibrației [mm/s <sup>2</sup> ]		
		X	Y	Z
MP3	Camion IFAW50LA, limitator de viteză	2,93	15,00	7,26
	Camion IVECO, limitator de viteză	2,47	11,93	7,27
	Autoturism VW Bora, limitator de viteză	0,68	3,77	3,27
MP4	Deplasare camion	0,50	0,8	3,6
	Deplasare camion peste capas cămin	2,80	3,2	6,5
	Deplasare autoturism	0,40	0,4	0,7

În urma măsurătorilor efectuate a rezultat că nivelul maxim al vitezei de propagare a vibrațiilor este în limitele admise pentru acele clădiri care au fost construite cu respectarea standardelor privind statica, rezistența și stabilitatea construcțiilor. În cazul clădirilor care prezintă fisuri, crăpături sau alte degradări cauzate de vibrații, la a căror construcție standardele nu au fost respectate, sunt necesare expertize de specialitate, precum și măsuri de protecție.

Cea mai simplă măsură de protecție constă în limitarea traficului prin lucrări de sistematizare specifice.

Din punct de vedere tehnic se recomandă (în asemenea situații) ca structura căii de comunicație să fie vibroabsorbantă prin introducerea în structura căii a unor straturi de materiale care diminuează vibrațiile produse de vehicule.

După realizarea lucrărilor de reconstrucție a străzii cu utilizarea unui material vibrocalmant au fost repetate măsurătorile în aceleași puncte și în aceleași condiții în data de 27.10.2009. Instrumentele utilizate la efectuarea măsurătorilor au fost aceleași.

Rezultatele măsurătorilor efectuate sunt prezentate în diagramele 6.4 - 6.16. Acestea au fost comparate cu rezultatele obținute înainte de reconstrucția străzii. Se

observă că valorile maxime ale vitezei de propagare a vibrațiilor apar la 8...12,5 Hz (tabelul 6.4.).

*Tabelul 6.4. Viteza maximă de propagare a vibrațiilor*

Locul măsurătorii	Viteza maximă a propagării vibrației în direcția verticală (Z), la frecvențe de 8...12,5 Hz [mm/s]		Viteza maximă a propagării vibrației perpendicular pe axa străzii (Y), la frecvențe de 8...12,5 Hz [mm/s]	
	Valori medii ale măsurătorilor la parter	Valori medii ale măsurătorilor la etaj	Valori medii ale măsurătorilor la parter	Valori medii ale măsurătorilor la etaj
Carosabil	0,5	0,44	0,26	0,19
Fundație	0,04	0,03	0,02	0,01
Pardoseală sau planșeu	0,07	0,09	0,02	0,07

## 6.2. Concluzii privind efectele vibrocalmate ale reconstrucției străzii

Compararea rezultatelor măsurătorilor efectuate înainte și după reconstrucția străzii s-a făcut prin analiza diferențelor accelerației vibrațiilor între sursa acestora (punctul MP1) și punctele de măsurare, înregistrare (MP2, MP3, MP3A).

Diagramele din fig. 6.4. și 6.5. prezintă funcțiile de transfer ale vibrațiilor pe direcția Z între carosabil (MP1) și clădire (MP2, MP3, MP3A), înainte (fig. 6.4.) și după reconstrucția străzii (fig. 6.5.).

Diagramele arată cu cât scade nivelul vibrațiilor în dreptul clădirii față de carosabil. Comparând situațiile înainte și după reconstrucție se observă o îmbunătățire după direcția Z în intervalele 1...3 Hz și peste 20 Hz. Cea mai importantă îmbunătățire se observă la nivelul pardoselii clădirii (MP3A). În intervalul 1...3 Hz se observă o scădere a vibrațiilor cu 3...15 dB, în intervalul 20...100 Hz de 3...20 dB, iar în intervalul 160...1000 Hz de 10...20 dB. O îmbunătățire mai modestă se observă și la fundații (MP2, 5...15 dB), respectiv la planșeu (MP3, 0...10 dB).

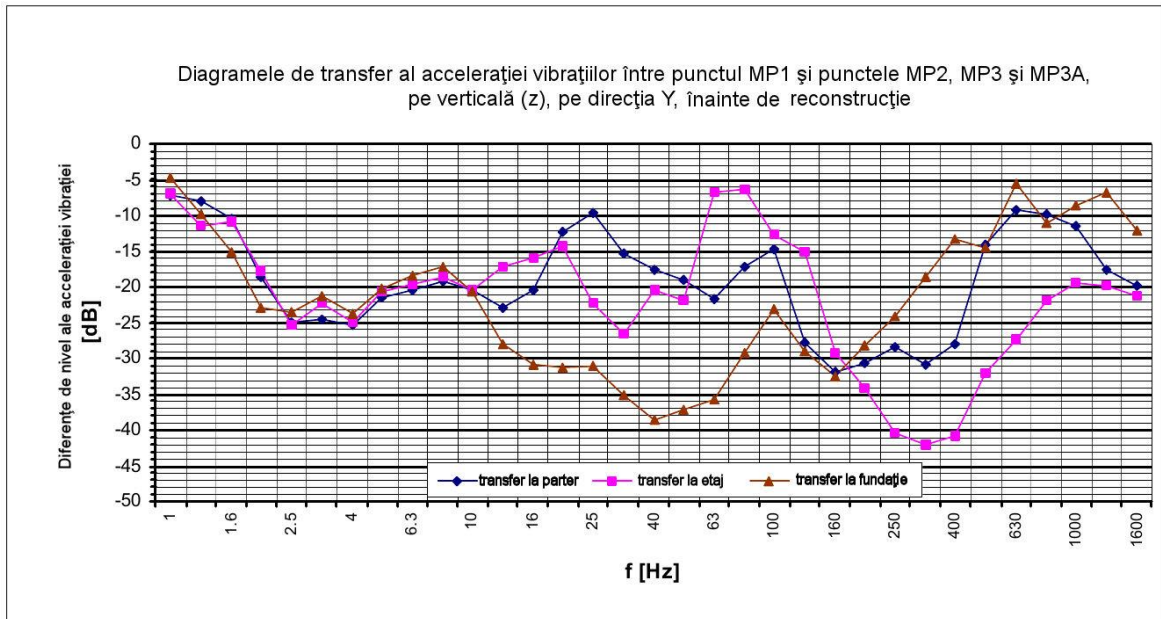
Măsurătorile efectuate după reconstrucție, după direcția perpendiculară pe axa străzii (Y), orizontal, au rezultatele prezentate în figura 6.6.

Se observă că efectul vibrocalmant este mai pregnant în intervalele 2...3 Hz și 20...400 Hz.

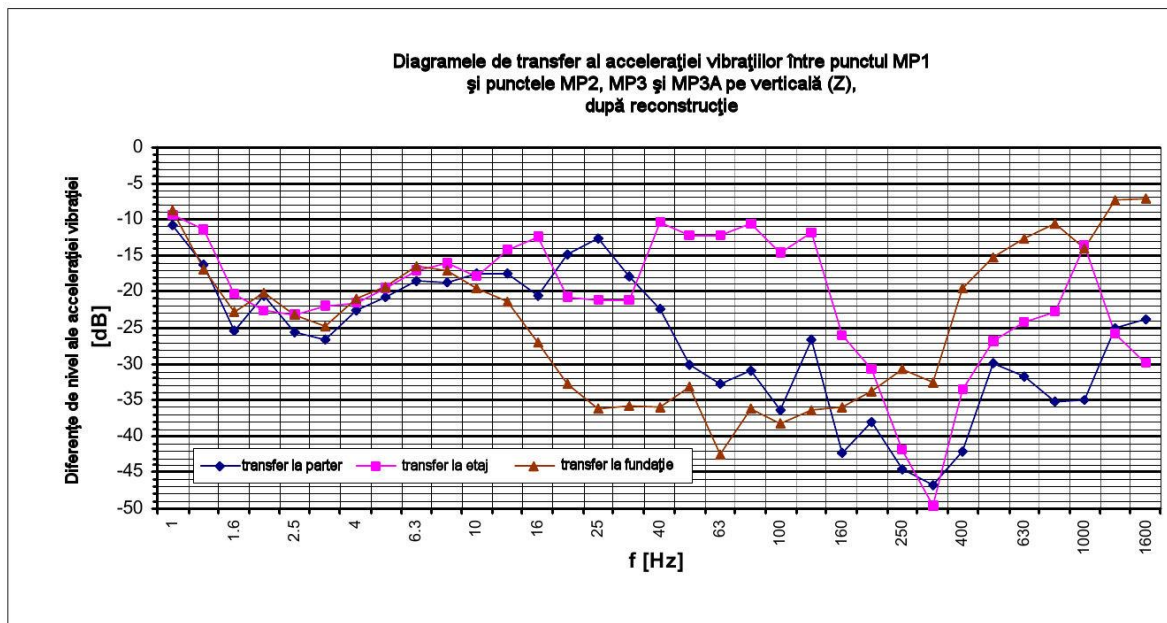
Se poate concluziona că din punct de vedere al propagării vibrațiilor reconstrucția străzii a adus schimbări majore. Noua structură rutieră a avut ca efect o reducere importantă a vibrațiilor cu toate că s-a renunțat la șanțuri care au și rol vibrocalmant. În reducerea vibrațiilor rolul major îl are stratul (covorul) vibroabsorbant.

Se poate aprecia că în cazul utilizării aceluiași covor vibroabsorbant (sau a altui covor, dar cu proprietăți similare) la reconstrucția unei străzi cu linie de tramvai sau trafic feroviar urban, se vor obține rezultate asemănătoare în reducerea vibrațiilor.

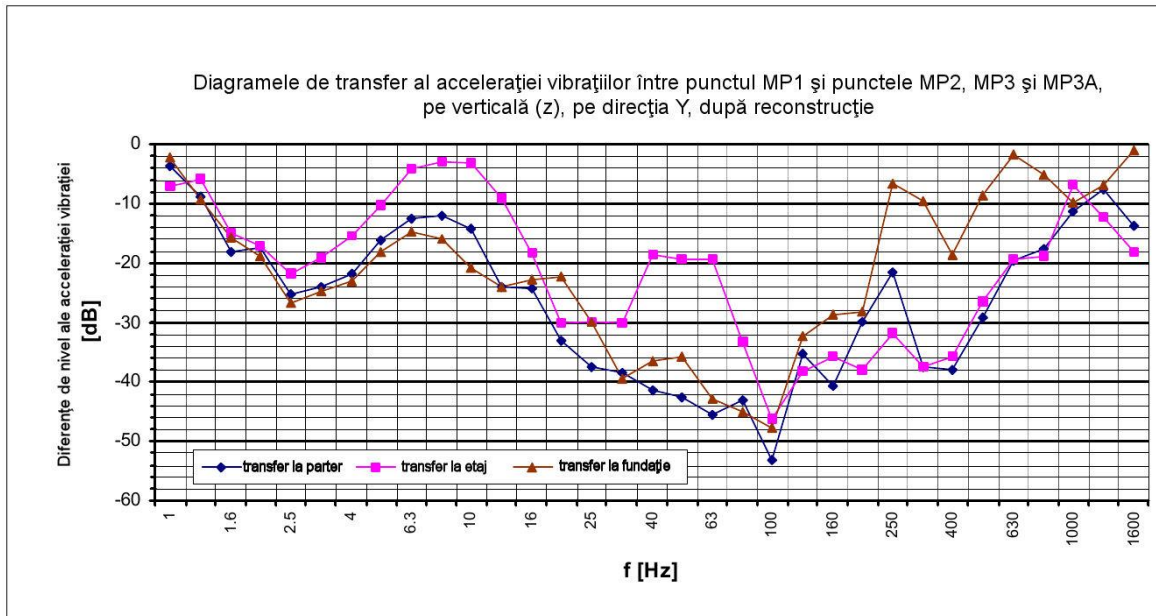
## Măsurători efectuate la căile de transport urbane



**Fig. 6.4.** Diagramele de transfer ale accelerației vibrațiilor între punctul MP1 și punctele MP2, MP3 și MP3A, pe verticală (Z), înainte de reconstrucție



**Fig. 6.5.** Diagramele de transfer ale accelerației vibrațiilor între punctul MP1 și punctele MP2, MP3 și MP3A, pe verticală (Z), după reconstrucție



**Fig. 6.6.** Diagramele de transfer ale accelerației vibrațiilor între punctul MP1 și punctele MP2, MP3 și MP3A, pe pe direcția Y, după reconstrucție

### 6.3. Influența vibrațiilor asupra oamenilor

În aprecierea vibrațiilor care au influență asupra omului se pornește de la valorile maxime ponderate (stabilite la intervale de 30 s) ale accelerațiilor vibrației.

În cadrul măsurătorilor efectuate valorile maxime ponderate obținute la trecerea autoturismelor și autocamioanelor reprezintă valorile maxime înregistrate din 30 în 30 secunde, iar solicitarea rezultantă din vibrații se determină în raport cu traficul de perspectivă.

Studiul efectelor vibrațiilor asupra oamenilor s-a făcut în punctul MP3 prin măsurarea vibrațiilor în trei direcții (X, Y, Z). Tabelul 6.5. prezintă media a zece măsurători efectuate.

**Tabelul 6.5.** Valorile maxime ponderate ale accelerației vibrației pe direcții de măsurare

Punct de măsurare	Descrierea sursei vibratoare	Accelerația maximă a vibrației [mm/s <sup>2</sup> ]		
		X	Y	Z
MP3	IFA W50LA (camion) pe limitator de viteză	2,25	9,23	6,77

Studiile privind traficul de perspectivă (pentru 2023) au condus la rezultatele din tabelul 6.6.

**Tabelul 6.6.** Trafic de perspectivă (2023) [vehicule/zi]

Autoturisme	Camionete < 3,5 t	Autobuz	Camion < 7,5 t	Camion > 7,5 t	Camion cu remorcă	Camion cu șa	Camioane speciale
1710	760	353	160	205	475	95	48

Din punct de vedere al generării vibrațiilor categoriile de autovehicule pot fi grupate în:

## Măsurători efectuate la căile de transport urbane

- autovehicule și camionete;
- vehicule grele.

Valorile din tabelul 6.7. sunt de așteptat în punctul MP3. Conform normativelor în vigoare la data efectuării măsurătorilor, limitele admise pentru vibrații sunt  $10 \text{ mm/s}^2$  ziua și  $5 \text{ mm/s}^2$  noaptea. Se observă că, în cazul traficului având intensitatea preconizată, vibrațiile calculate (estimate) corespund standardelor valabile. Aceste constatări se referă la starea sistemului rutier după reconstrucția străzii, în situația în care apar defecte de suprafață.

*Tabelul 6.7. Vibrații generate în mediul înconjurător estimate în raport cu traficul de perspectivă*

Sursa vibrației	Durata vibrațiilor [h]		Accelerarea ponderată a vibrațiilor [ $\text{mm/s}^2$ ]		
	ziua	noaptea	X	Y	Z
Autiturisme și camionete	5,50	1,40	0,680	3,770	3,270
Camioane	10,50	0,70	2,246	9,234	6,774
Vibrații de fond	0,00	5,90	0,273	0,295	0,312
Valori estimate ale vibrațiilor pe direcții					
X: paralel cu axa drumului; Y: perpendicular pe axa drumului; Z: perpendicular			X	Y	Z
Valori estimate pentru zi [ $\text{mm/s}^2$ ]			1,862	7,800	5,813
Valori estimate pentru noapte [ $\text{mm/s}^2$ ]			0,760	3,164	2,441

Ca și concluzie finală rezultă că soluția tehnică propusă și aplicată pe un drum experimental duce la diminuarea vibrațiilor în dreptul clădirilor și în clădirile învecinate drumului. Atenție deosebită trebuie acordată acelor construcții (în special clădiri) aflate în vecinătatea străzii care prezintă fisuri și/sau crăpături cauzate de traficul actual și/sau de instabilitatea terenului de fundare.

Valorile din ultimul tabel pot fi considerate valabile pentru sistemul rutier în cazul unei linii înglobate în carosabil.

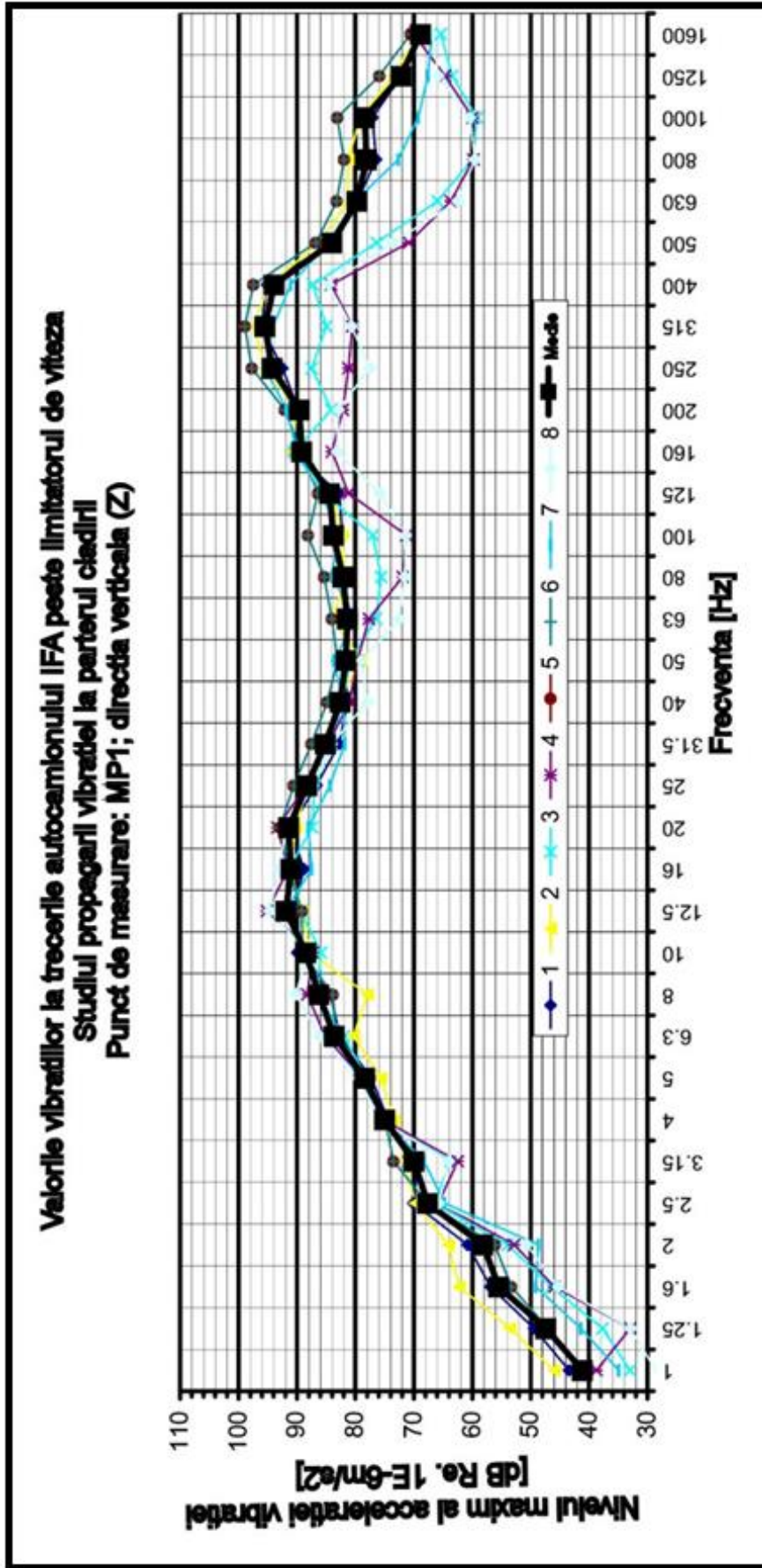


Fig. 6.7



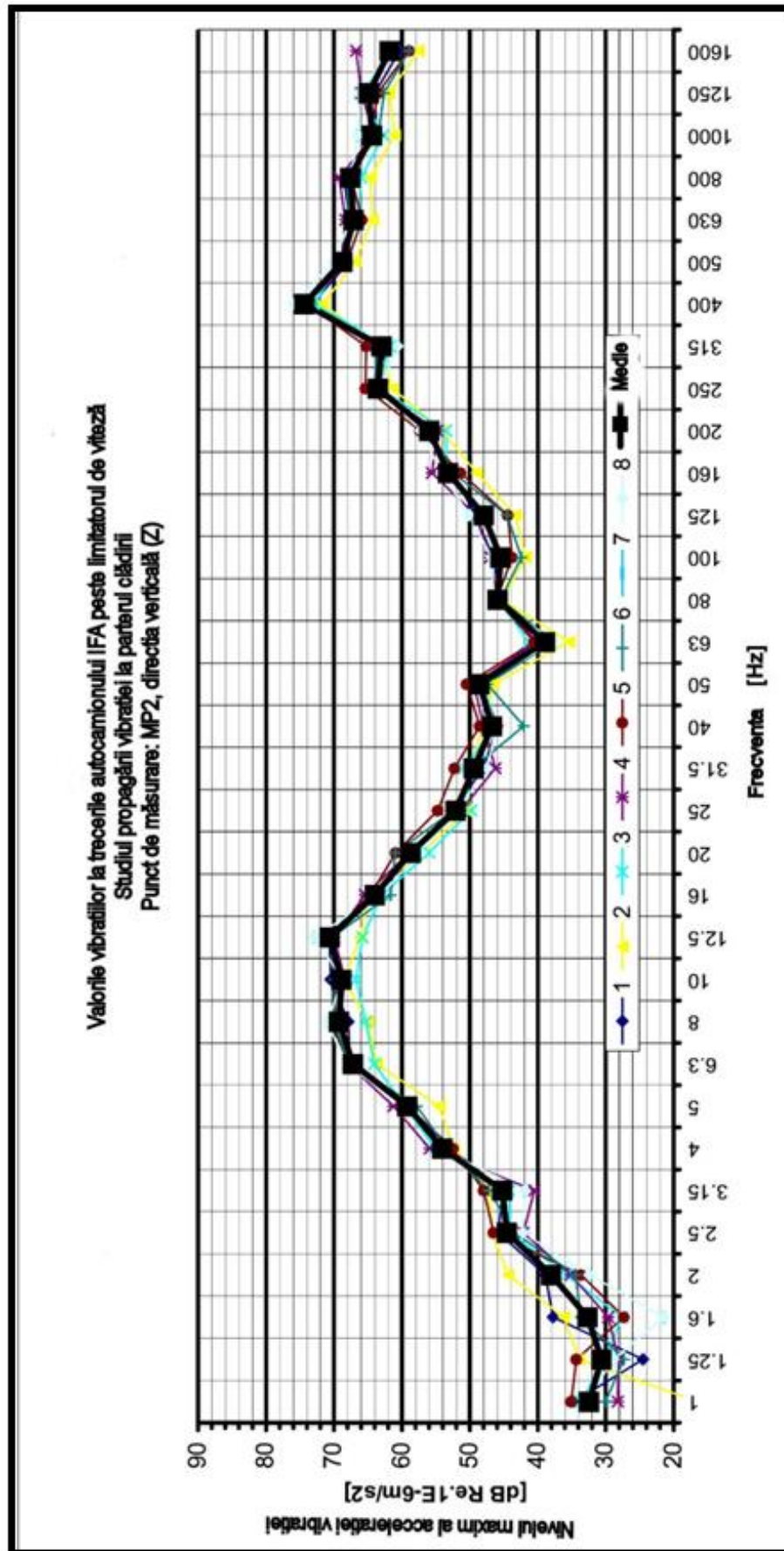


Fig. 6.8

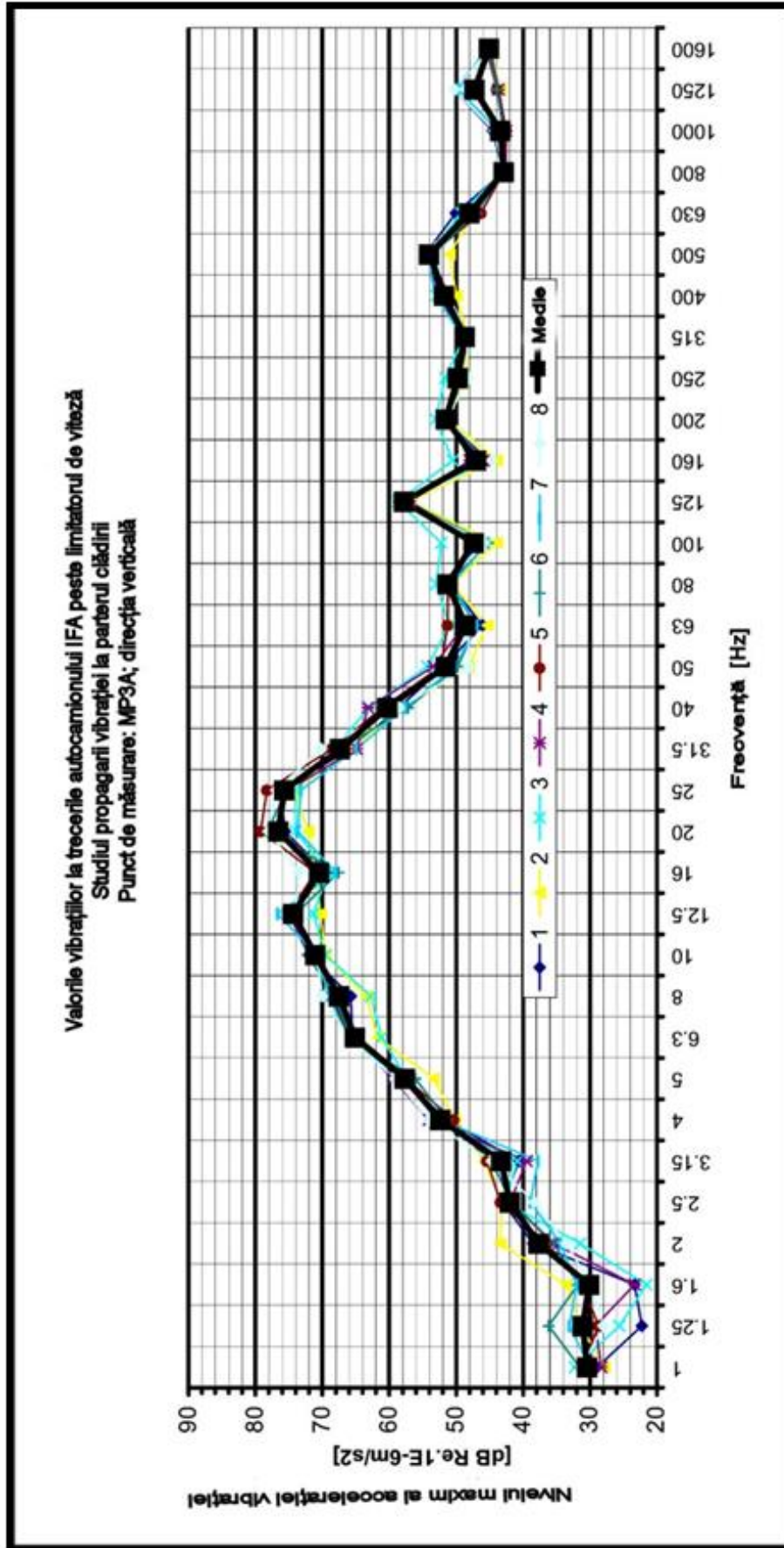


Fig. 6.9



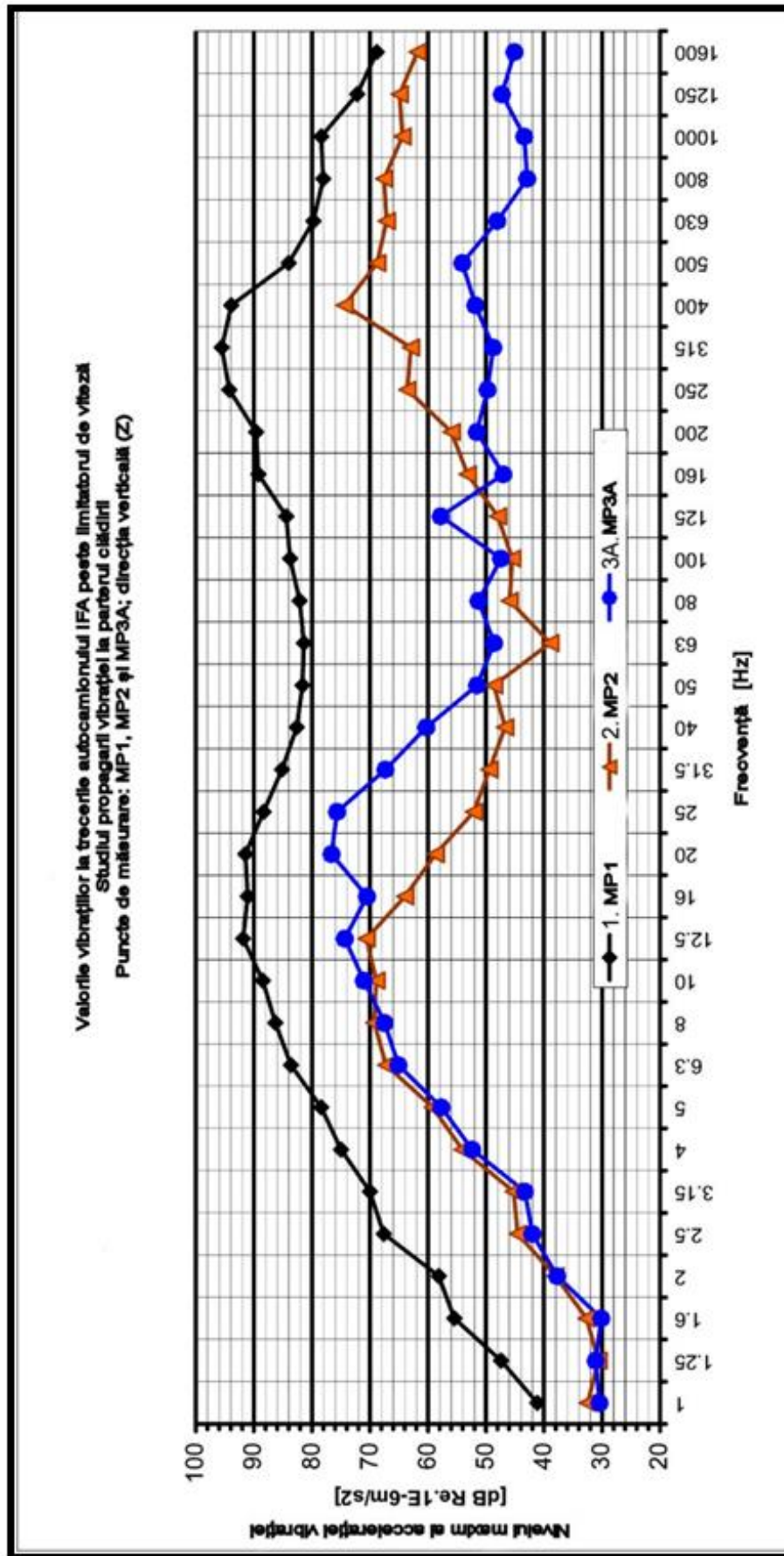


Fig. 6.10

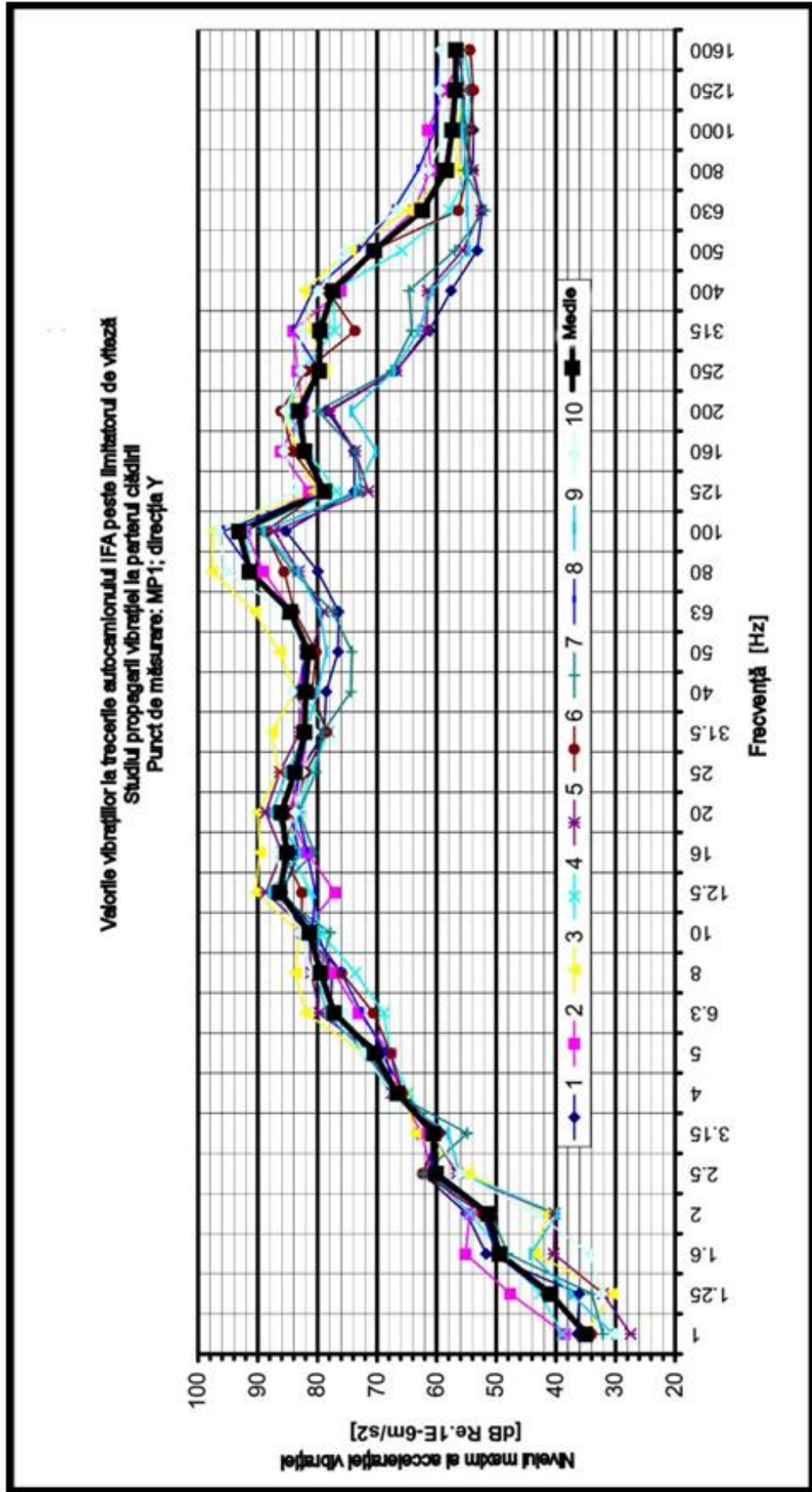


Fig. 6.11

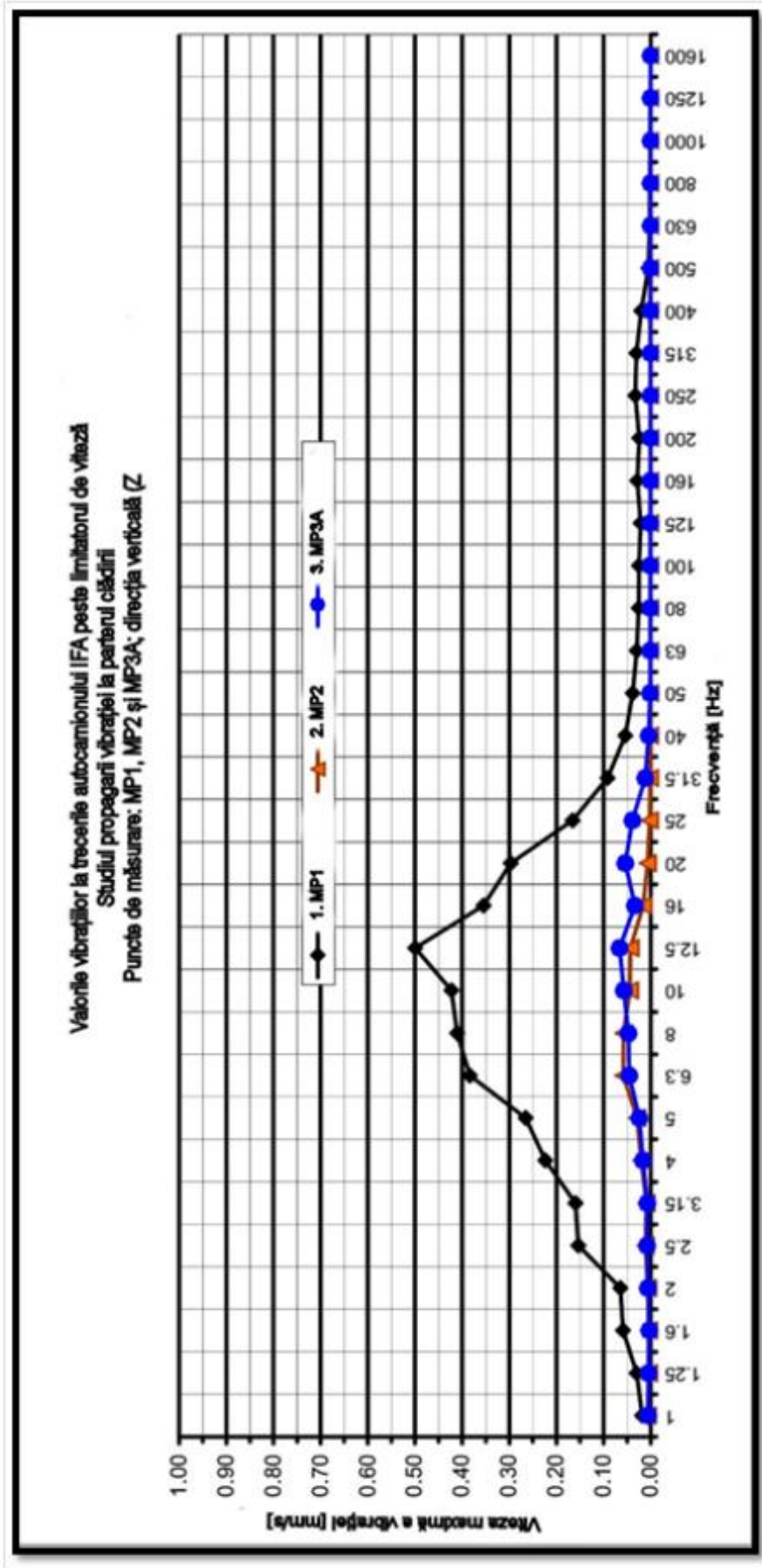


Fig. 6.12

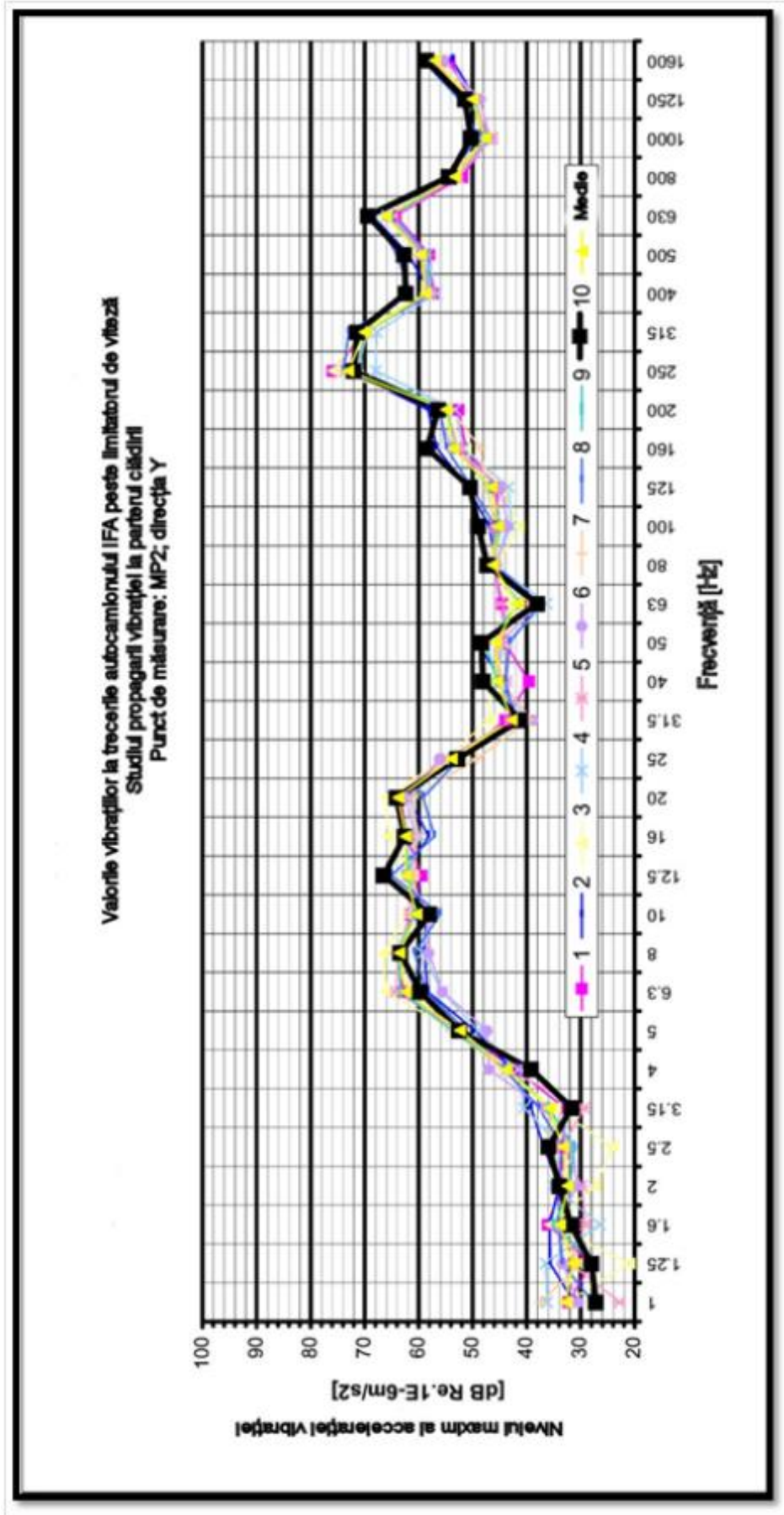


Fig. 6.13

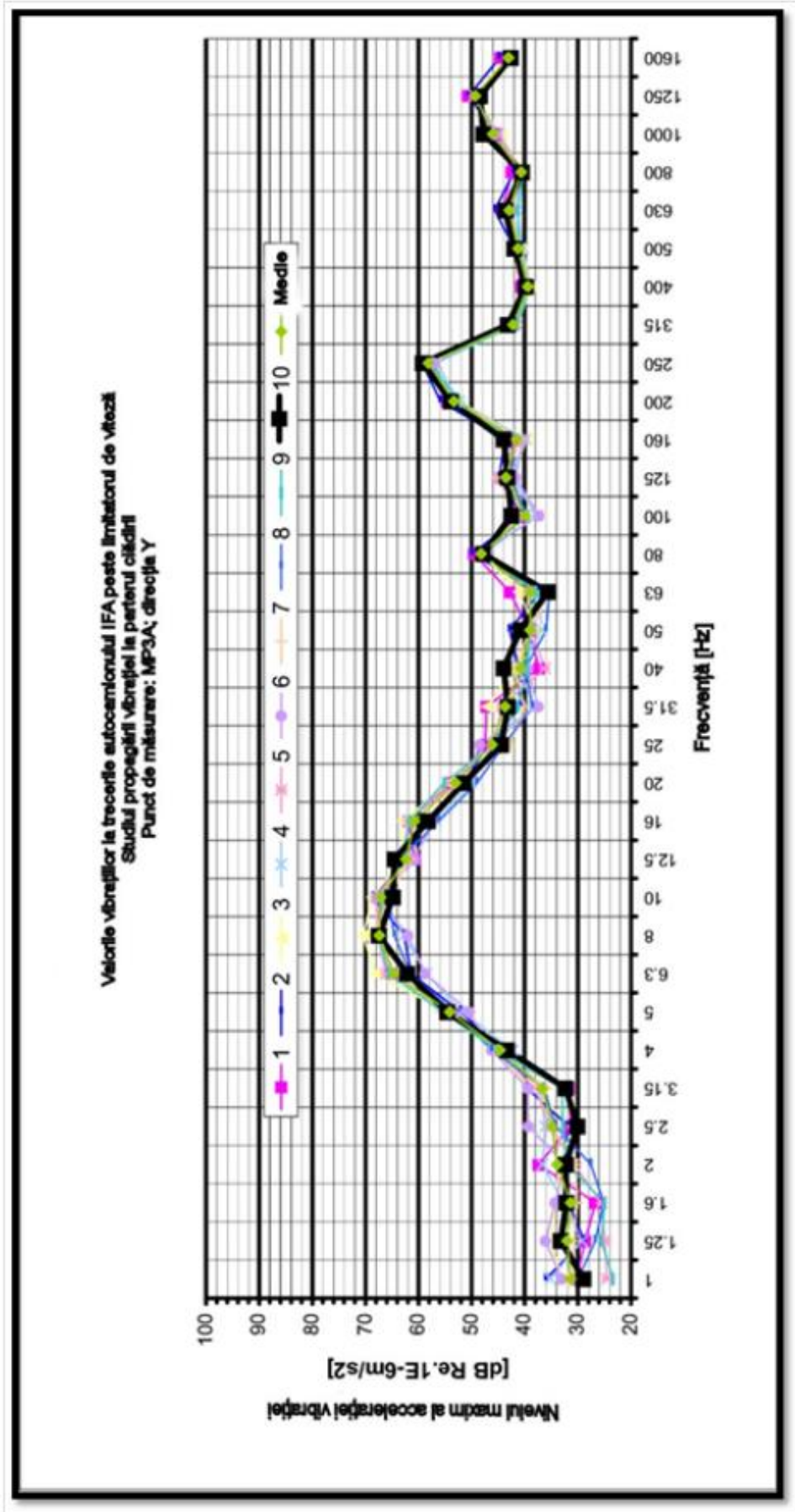


Fig. 6.14



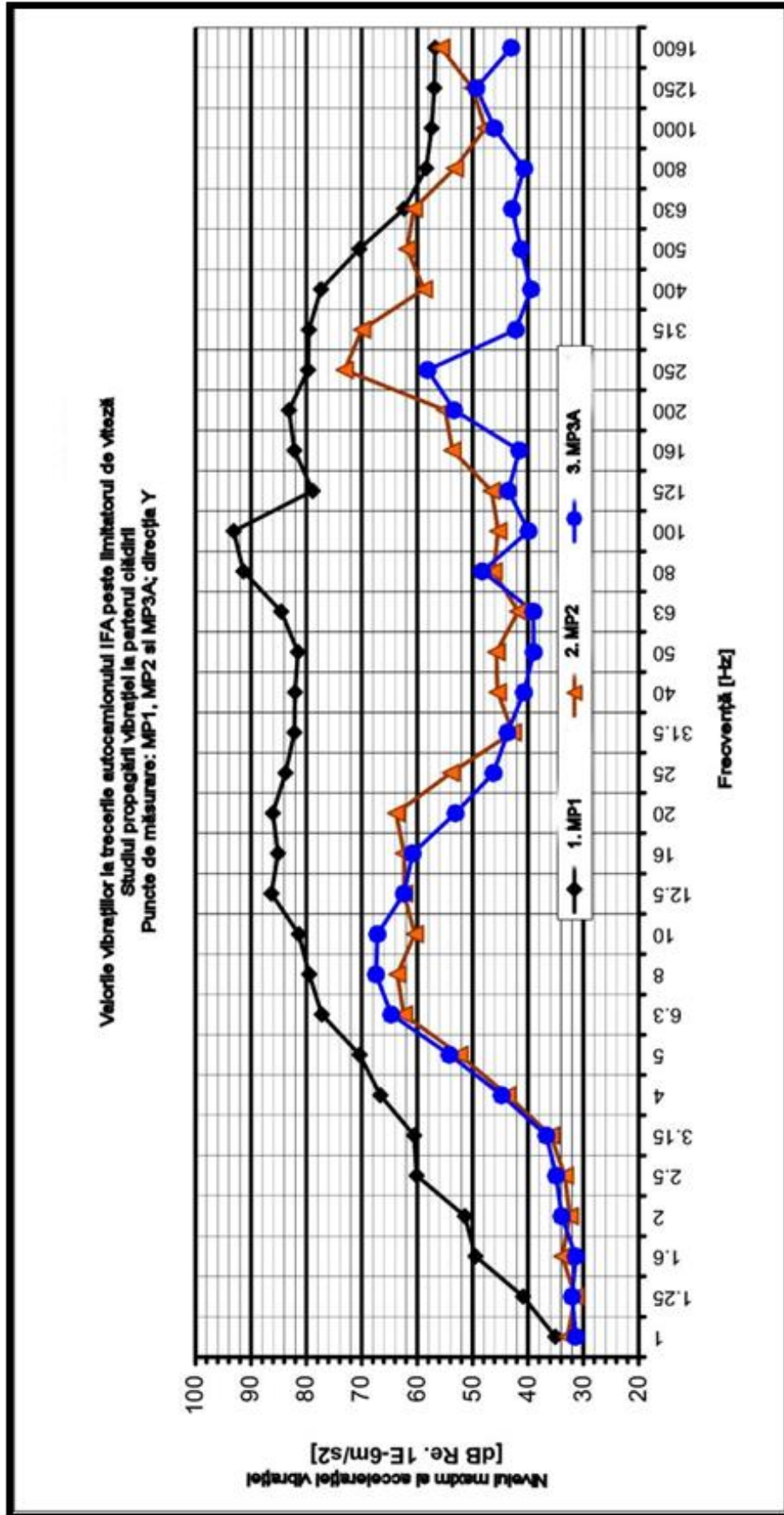


Fig. 6.15

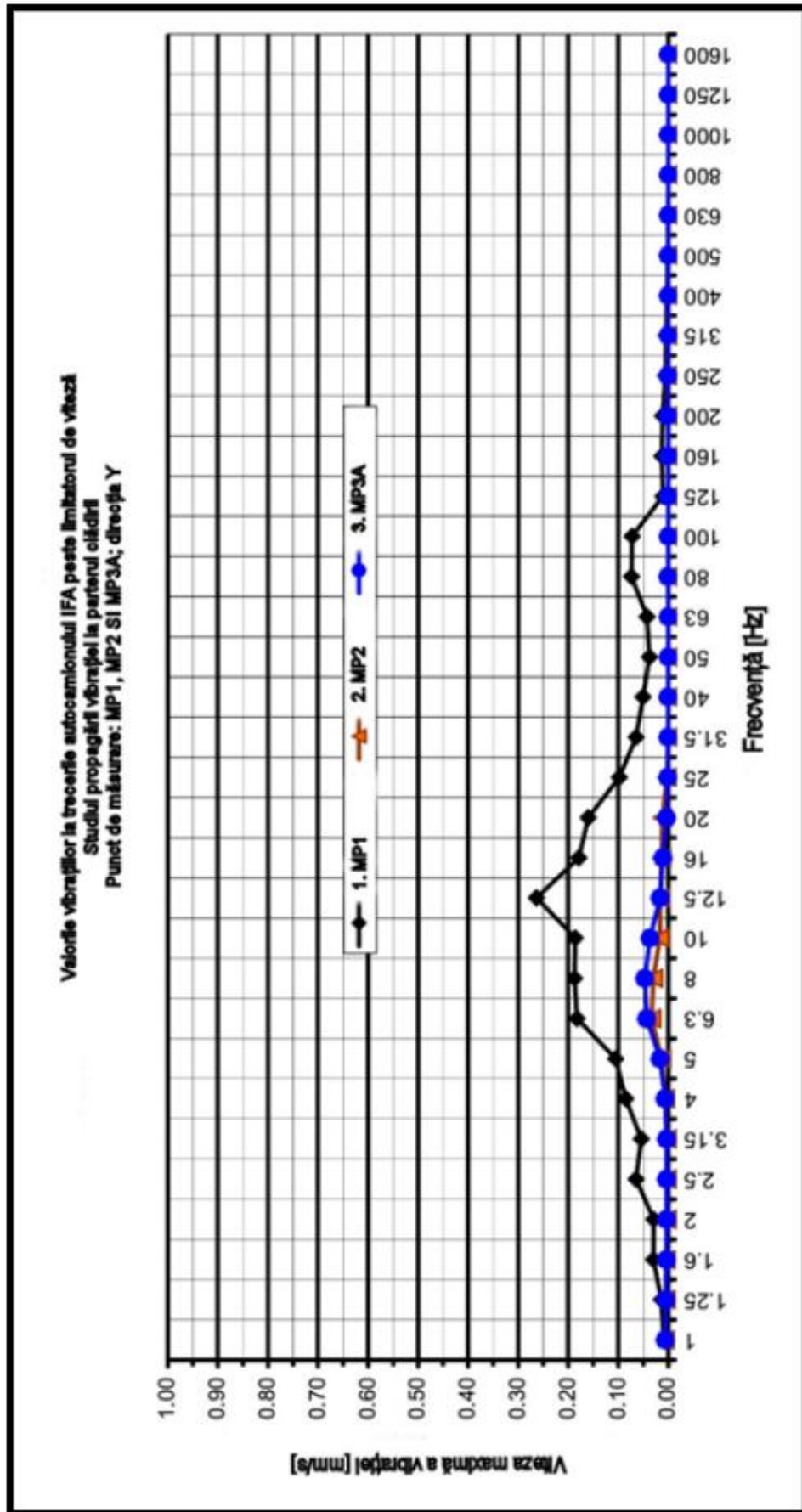


Fig. 6.16

## Capitolul 7 CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Căile ferate au un rol deosebit în desfășurarea transportului de călători, în transportul urban și periurban din marile orașe ale lumii. Calitățile principale ale transportului de călători pe șine sunt:

- distanța mică între stații;
- capacitate mare de transport;
- transferul rapid al călătorilor.

Există două categorii principale de căi de rulare:

- căi înglobate în carosabil;
- cai de rulare în pat propriu (aeriane, de suprafață, subterane).

Importanța căilor de rulare urbane și periurbane a reapărut după al doilea război mondial ca urmare a creșterii explozive a traficului urban motorizat când marile orașe au căutat și caută în continuare soluții eficiente și durabile pentru rezolvarea transportului în comun. Soluțiile propuse, găsite, implementate sunt influențate de dezvoltarea generală urbană, de apariția unor întregi zone industriale sau rezidențiale în apropierea localităților, în comunele limitrofe, în zone periurbane.

Rezolvarea problemelor legate de transportul public de călători (urban și periurban) depinde de următorii factori principali:

- costurile foarte mari atât pentru construcția de căi de transport noi, cât și pentru sistematizarea, reabilitarea, modernizarea celor existente; aceste costuri pot crea probleme greu de rezolvat chiar și conducerii marilor și bogatelor metropole;
- al doilea factor care nu poate fi neglijat se referă la implicațiile unei asemenea lucrări asupra vieții de zi cu zi a metropolei.

### 7.1. Concluzii și observații finale

Pornind de la cele mai sus menționate, dar și de la constatarea că atât pe plan internațional, cât și național transportul urban și periurban de călători reprezintă o problemă din ce în ce mai greu de rezolvat, am ajuns la concluzia că transportul pe șine este o soluție viabilă, eficientă, realizabilă, durabilă.

În acest context se poate aprecia că se înscrie și prezenta lucrare care încearcă să aducă o contribuție la găsirea celor mai bune soluții în rezolvarea problemelor legate de transportul în comun pe șine.

Teza de doctorat este structurată în consecință pe șapte capitole.

În capitolul I „Particularități ale liniilor ferate urbane” sunt prezentate elemente specifice în proiectarea, construcția și exploatarea liniilor de tramvai, a căilor ferate industriale și a liniilor metropolitane. Informațiile prezentate provin din standardele, normativele, reglementările naționale actuale, respectiv din literatura de specialitate menționată la „Bibliografie”.

Capitolul II are ca temă „Tipuri de suprastructuri de linii urbane și evoluția acestora”. În acest capitol sunt prezentate o serie de tipuri de suprastructură, în special pentru calea de rulare a tramvaiului, utilizate atât la reabilitarea liniilor de tramvai din România, cât și la modernizarea sau construcția căilor de rulare din Europa și Japonia.

În capitolul III sunt prezentate „Metode de calcul ale suprastructurilor de căi ferate urbane”. Sunt prezentate solicitările statice și dinamice care acționează asupra elementelor suprastructurii și diverse metode de calcul al șinelor, al traverselor din beton precomprimat, al prismeii căii și al unor materiale de prindere. Pe lângă



metodele de calcul selectate și analizate preluat din literatura de specialitate (menționată la bibliografie) sunt prezentate și calculele care au fost efectuate pentru realizarea unei traverse noi la PREBET Aiud.

Capitolul IV se referă la „Îmbunătățirea interacțiunii vehicul-cale pentru sporirea siguranței circulației și a condițiilor de confort”. În acest context este analizată contribuția căii de rulare la asigurarea transportului de călători în deplină siguranță, cu viteze sporite și în condiții de confort. Pornind de la convingerea că accelerațiile transversale la contactul roată-șină reprezintă cauza principală a problemelor de siguranță și confort, în capitol este dezvoltată problema retrăsării curbilor și este prezentat un program de retrasare original, utilizabil atât la căi ferate obișnuite, cât și la linii de tramvai.

În capitolul V sunt prezentate „Noi soluții privind realizarea suprastructurilor liniilor urbane”. Cele prezentate în acest capitol se referă la:

- linii de tramvai vibroabsorbante;
- linii „verzi” (înierbate);
- utilizarea betoanelor armate cu fibre sintetice;
- treceri la nivel pe plăci rigide.

În capitolul VI apar câteva „Măsurători efectuate la căile de transport urbane”, altele decât cele deja prezentate în capitolul IV, care se referă la retrasarea curbilor, sau cele din capitolul V, utilizate la stabilirea dozajului optim de fibre sintetice.

Capitolul VII prezintă „Concluzii și contribuții originale” rezultate la finalizarea lucrării și care pot fi apreciate ca fiind valoroase și utile atât în activitatea de proiectare, construcție și întreținere a căilor ferate urbane, cât și în activitatea de cercetare ulterioară.

## 7.2. Contribuții originale

Analizând conținutul tezei de doctorat și rezultatele obținute, pot fi evidențiate următoarele contribuții personale:

- studiu bibliografic vast privind căile ferate urbane din țară și străinătate;
- stabilirea relațiilor de calcul pentru determinarea lungimii curbilor de racordare parabolice la proiectarea liniilor de tramvai, relații care ar trebui introduse în SR 13353/1...6 din 1996 și 1997;
- o nouă sistematizare a metodelor de calcul privind elementele suprastructurii căilor ferate;
- proiectarea unei traverse din beton precomprimat noi la solicitarea PREBET Aiud; traversa originală are forma și dimensiunile traversei clasice T17, dar va avea armătură preîntinsă 4x7,5 mm în loc de 12x3x3 mm, iar prinderea indirectă va fi înlocuită cu prindere elastică;
- pentru îmbunătățirea geometriei în plan a căilor de rulare noi sau modernizate am contribuit la elaborarea unui program de retrasare de curbe care permite abordarea tuturor situațiilor posibile: curbe obișnuite, puncte sau direcții obligate, raze mici, orice lungime de coardă, curbe cu mai multe raze, număr nelimitat de săgeți; în acest context au fost prezentate două exemple de retrasare de curbe, una de cale ferată și alta de cale de rulare; aceste studii de caz dovedesc eficiența și utilitatea programului de retrasare elaborat și prezentat în lucrare;
- sunt prezentate câteva aspecte inedite privind interacțiunea vehicul-cale și anume: efectul rezonanței și efectul blocării unui boghiu în poziție rotită asupra siguranței circulației;

- noile soluții pentru realizarea suprastructurilor liniilor urbane propuse de mine în această lucrare sunt:
  - cale de rulare având o suprastructură vibroabsorbantă, vibrocalmantă, utilizabilă în zone cu front stradal îngust, respectiv în dreptul construcțiilor care trebuie protejate; soluția încă nu a fost aplicată la construcția sau modernizarea liniilor ferate urbane, doar la un tronson experimental de stradă în străinătate;
  - utilizarea betoanelor armate cu fibre sintetice la realizarea plăcilor din beton la construcția liniilor de tramvai; încercările efectuate la laboratorul MAPEI de la Facultatea de Construcții din Budapesta au ajutat la stabilirea dozajului optim, sortimentul și calitatea recomandată pentru fibrele sintetice (microfibre și microfibre) la realizarea dalelor din beton; cele stabilite au fost aplicate la proiectarea unor dale la calea de rulare a tramvaiului din Arad, în zona aparatelor de cale acționate electrodinamic, unde armătura clasică de oțel ar putea avea influență asupra instalațiilor feroviare speciale;
  - proiectarea structurii trecerilor la nivel cu tramvaiul recomand să se facă în varianta prezentată în capitolul V; în cazul traficului rutier greu am considerat structura identică (din punct de vedere al calculului) ca o cale pe pod, armarea dalei fiind determinată cu programul AxisVM12; menționez că cele 27 de treceri la nivel proiectate de mine pentru căile de rulare din Arad și executate în anii 2007...2009 sunt în stare foarte bună și azi;
  - propunere pentru linii de tramvai înierbate;
- efectuarea de măsurători privind starea liniilor de tramvai din Timișoara, Arad și Oradea care încă nu au fost modernizate, reabilite; măsurătorile privind elementele geometrice ale căii au fost efectuate în cadrul expertizării acestor linii de către o echipă de la S.C. LONGHERSIN S.R.L. din Timișoara din care și eu am făcut parte; din aceste măsurători în prezenta lucrare apar săgețile unei curbe retrasate;
- măsurători privind intensitatea și propagarea vibrațiilor generate de autocamioane sau autoturisme.

### 7.3. Recomandări

În urma finalizării tezei de doctorat pot fi făcute o serie de recomandări pentru activitatea viitoare în domeniul proiectării, construcției și exploatării căilor ferate urbane. Iată câteva asemenea recomandări:

- reanalizarea, completarea, modificarea standardelor care se referă la căile ferate urbane;
- continuarea studiilor și cercetărilor în vederea dimensionării dalelor sau longrinelor de beton utilizate la căile ferate urbane, pentru stabilirea cantității optime de fibre sintetice utilizate la armarea acestora;
- continuarea studiului comparativ privind poluarea mediului de către diferite sisteme de transport;
- implementarea în activitatea feroviară a unui program de calcul de retrasare de curbe;
- continuarea studiilor privind suprastructura căilor ferate urbane vibroabsorbante.

## Concluzii și contribuții originale

Consider că în viitor transporturile urbane și periurbane pe șine vor cunoaște o dezvoltare spectaculoasă și în țara noastră nu doar în străinătate. Pe lângă o cale de transport corespunzătoare pentru pretențiile de siguranță și confort impuse, este și va fi nevoie de material rulant corespunzător, instalații feroviare specifice moderne, tehnologii avansate, materiale performante, management competitiv al traficului, finanțare adecvată și nu în ultimul rând oameni profesioniști, competitivi, dăruți, competenți, curajoși.

## BIBLIOGRAFIE

1. Alias, I.: La voie ferrée, Eyrolles Paris, 1990.
2. Anton, C.: Căi ferate, Vol.I. Litografia I.P.Iași,1984.
3. Anton, C.: Căi ferate, Vol.I. Litografia I.P.Iași,1989.
4. Belc, F.: Căi de comunicație terestre. Elemente de proiectare., Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999.
5. Bier, G.: The right rails in the road. Railconstructies voor de 21ste eeuw, Symposium TU Delft 22 maart 1996.
6. Brüel & Kjaer: Introduction aux vibrations, Brüel & Kjaer Conference No.80, Copenhaga.
7. Buzdugan, Gh., Mihăilescu, E., Radeș, M.: Măsurarea vibrațiilor, Editura Academiei RSR, București, 1979.
8. Celebi, E., Schmid, G.: *Investigation of ground vibrations induced by moving loads*, Elsevier Science Direct, Engineering Structures 27, 2005.
9. Darabonț, A., Iorga, I., Văiteanu, D., Simaschevici, H.: *Șocuri și vibrații: aplicații în tehnică*, Editura Tehnică, București, 1988.
10. Degen, F. G., Behr, W., Grutz, H. P.: *Investigations and Results Concerning Railway-induced Ground-borne Vibrations in Germany*, Journal of Sound and Vibration, 2006.
11. Degrande, G., Lombaert, G.: *High-speed Train Induced Free Field Vibrations: In-situ Measurements and Numerical Modeling*, „Proceedings of Wave 2000”, Rotterdam, Balkema, 2000.
12. Drăgan, B.: *Controlul vibrațiilor și zgomotului*, Editura Gh.Asachi, Iași, 2003.
13. Drăgănescu, Gh. E.: *Vibrații și zgomote*, Centrul de multiplicare al Universității Politehnica Timișoara, Timișoara, 1999.
14. Eisenmann, J.: *Auswirkung des Schinenprofils und der Unterschwellung auf die Gleislagebeständigkeit*, E.T.R. Darmstadt, 1990/10, pag. 619...622.
15. Eisenmann, J.: *Die Bedeutung der Abhebewelle der Schiene*, Der Eisenbahningenieur, Heft 3, 1976.
16. Eisenmann, J.: *Qualität des Oberbauzustandes*. Eisenbauingenieur, Darmstadt, 1980/3.

## Bibliografie

17. Eisenmann, J.: *Verhaltensfunktion des Schotters, Folgerungen für hohe Fahrgeschwindigkeiten*, Eisenbahningenieur, 1981/6.
18. Eisenmann, J., Leykauf, G.: *Brücken als Störstellen im Gleis*, Der Eisenbahningenieur, Heft 3, 1987.
19. Esveld, C., *Modern Railway Track*, MRT – Productions, Duisburg, 1989.
20. Esveld, C., *Modern Railway Track*, Delft University of Technology, MRT – Productions, Delft, 2001.
21. Fazekas, F.: *A hézagnéküli vasúti vágányok állékonysági vizsgálata*, Teza de doctorat, Budapesta, 1988.
22. Herman, A.: *Calea fără joante. Teorie și aplicații*, Editura Mirton, Timișoara, 2000.
23. Herman, A.: *Influența prisme de balastare asupra stabilității căii fără joante*, A VII-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații. Vol.I, pag. 275..280, Timișoara, 1992.
24. Herman A., Cara P., Herman C., *Considerații privind elementele geometrice ale liniilor de tramvai*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 22 – 23 mai 2003, pag. 499 – 503;
25. Herman A., Herman C., *Curbe de racordare noi*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 22 – 23 mai 2003, pag. 504 – 508;
26. Herman A., Herman C., *Considerații privind rampa supraînălțării*, Zilele Academice Timișene ediția a XII-a, Timișoara, 26 – 27 mai 2011, pag. 362 – 365;
27. Herman A., Herman C., *Considerații privind protecția mediului în zona căii ferate*, Zilele Academice Timișene, 28-29 mai 2015, ---
28. Herman A., Herman C., *Protecția mediului în zona căii ferate*, Conferința Internațională Club Feroviar Român, Brașov, februarie 2015, ---
29. Herman A., Herman C., Köllő G., *A lélegző szakasz hossza*, Conferința Internațională de Construcții și Arhitectură, 5-6 iunie 2015, ---
30. Herman A., Herman C., Silaghi Remus, *Câteva considerații privind denivelările transversale și deraierea materialului rulant*, Al II-lea Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 30 – 31 octombrie 2003, pag. 55 – 61;
31. Herman A., Herman C., Silaghi R., *Considerații privind deformațiile liniilor de cale ferată*, Al II-lea Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 30 – 31 octombrie 2003, pag. 67 – 74;

32. Herman A., Herman C., Silaghi R., *Diagrame de eforturi și deplasări la calea fără joante în ipoteza rezistenței longitudinale „p” cu variație liniară*, Al II-lea Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 30 – 31 octombrie 2003, pag. 75 – 82;
33. Herman A., Köllő G., Herman C.: *Căi ferate. Alcătuirea suprastructurii*, Editura Eurostampa, Timișoara, 2014
34. Herman A., Köllő G., Herman C., *Considerations regarding the calculation of concrete rail sleepers*, Revista Acta Technica Napocensis, Cluj-Napoca, --- 2015;
35. Herman A., Köllő G., Herman C., Nagy J., *Considerații privind ecranele acustice*, Zilele Academice Timișene, 28-29 mai 2015, ---
36. Herman A., Köllő G., Herman C., *Considerații privind mecanica deraierii roților*, Conferința Internațională Club Feroviar Român, Brașov, februarie 2015, ----
37. Herman A., Nagy J., Herman C., *Structuri speciale vibroabsorbante*, Zilele Academice Timișene ediția a XIV-a, Timișoara, 23 – 24 mai 2013, pag. 194 – 197;
38. Herman A., Silaghi R., Herman C., *Reabilitarea liniei de cale ferată București-Arad-Curtici. Impactul asupra mediului*, A V-a Conferință Națională Drumul și Mediul Înconjurător, Băile Herculane, 2 – 4 octombrie 2003, pag. 46.- 49;
39. Herman, A., Stoicescu, G., Herman, C. și Cara P.: *Căi ferate. Elemente de proiectare, construcție, întreținere și exploatare*, Editura Mirton, Timișoara, 2003.
40. Herman C., Herman A., Köllő G., Nagy J., *Poluarea fonică în zona căii ferate*, Zilele Academice Timișene, 28-29 mai 2015, ----
41. Herman C., Nagy J., Herman A. – *Considerații privind liniile de tramvai”verzi”*, Zilele Academice Timișene ediția a XIV-a, Timișoara, 23 – 24 mai 2013, pag. 126 – 133;
42. International Transport Forum, Road Safety Annual Report 2011, 2011, (online)  
<http://www.internationaltransportforum.org/irtadpublic/pdf/11IrtadReport.pdf>.
43. Izdrăilă, V. Și Berberich, W.: *Căi ferate. Partea a II-a. Suprastructura*, Litografia I.P. Traian Vuia, Timișoara, 1981.
44. Izdrăilă, V. și Herman, A.: *Întreținerea și exploatarea liniilor de cale ferată*, Litografia U.T. Timișoara, 1993.

## Bibliografie

45. Janin, G.J.: *La résistance latérale de la voie ferrée. Le problème de la stabilisation du ballast*, Revue générale de chemins de fer, Paris, 1957.
46. Kerkápoly, E. ș.a.: *Vasútépítéstan*, T.K.K., Budapest, 1989.
47. M.Á.V. Rt. *VASÚTÉPÍTÉS ÉS PÁLYAFENNTARTÁS. vol.1.și vol.2*, Editura MÁV Rt., Budapesta, 1999.
48. Mihalik, A. Et al.: *Problematika dezvoltării durabile*, Editura Universității din Oradea, Oradea, 2009. Nagy J., Köllő G., Herman C., Herman A., *Considerații privind proiectarea liniilor de tramvai 1-3 din Szeged*, Revista Technical Review, Cluj-Napoca, nr.64/2014, pag. 36 – 40;
49. Nagy J., Köllő G., Herman C., Herman A., *Tram lines design for section 1-3 in Szeged* (limba maghiară), Conferința Internațională de Construcții și Arhitectură, Șumuleu Ciuc, 2014.
50. Nagy J., Juhasz K. P., Herman A., Herman C., *Az első, műanyag szállal erősített és fűvesített villamospálya (1-rész), A szegedi 1-es és 3-as villamosvasút tervezése*, Revista Sínek világa, Budapesta, nr.2/2015, pag. 18-21.
51. Nechita, M. și Köllő, G.: *Căi ferate*, Litografia I.P. Cluj-Napoca, 1982.
52. Nemesdy, E.: *A vágányok kivetődéssbiztonságának számítása*. K.T.SZ., Budapest, 1959.
53. Pantea, P.: *Contribuții la studiul și elaborarea unor noi soluții de protecție prin ecranare antivibratorie a construcțiilor*, Teză de doctorat, Timișoara, 1997.
54. Popescu, I.: *Căi ferate – transporturi clasice și moderne*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1987.
55. Radu, C.: *Suprastructura căii, probleme*, I.C. București, 1972.
56. Samavedam, G. și Kish, A.: *Analisis of Thermal Bucking Tests on United States Railroads*, DOT/FRA/ORD – 82/45, 1982.
57. Sebeșan, I.: *Dinamica vehiculelor de cale ferată*, Editura Tehnică, București, 1996.
58. Shen, X., Jones, C., Petyt, M.: *Ground Vibration Generated by a Load Moving Along a Railway Track*, Journal of Sound and Vibration, 1999, 228(1): 129-156.
59. Vaszary, P. și Kiss, F.: *Vasúti pályafentartás*, T.K.K. Budapest, 1990.

60. Yang et al.: *Train-induced Wave Propagation in Layered Soils Using Finite/Infinite Element Simulation*, Journal of Soil Dynamics & Earthquake Engineering, 2003, 23(4).
61. \*\*\* Colecția STAS.
62. \*\*\* Instrucția nr.314 de norme și toleranțe pentru construcția și întreținerea căii. Linii cu ecartament normal.
63. \*\*\* Instrucția nr.341 pentru alcătuirea, întreținerea și supravegherea căii fără joante. MTTc, București, 1980.
64. \*\*\* Instrucțiuni de serviciu.
65. \*\*\* DIN 4150-3:1999.
66. \*\*\* ISO 4866:2010.
67. \*\*\* IS/ISO 4866:2010.
68. \*\*\* SN 640 312a:1992.
69. \*\*\* UNI 9966:2004.
70. \*\*\* Comisia Europeană CARTEA ALBĂ – Foaie de parcurs pentru un spațiu european unic al transporturilor – Către un sistem de transport competitiv și eficient din punct de vedere al resurselor, Bruxelles, 2011.
71. \*\*\* Guvernul României: Strategia Națională de Dezvoltare Durabilă a României, Orizonturi 2013-2020-2030, București, 2008.
72. \*\*\* Guvernul României: Program de guvernare 2009-2012.
73. \*\*\* [www.agir.ro/buletine/512.pdf](http://www.agir.ro/buletine/512.pdf).
74. \*\*\* [www.anpm.ro/upload/16089\\_13%20TRANSPORTURI.pdf](http://www.anpm.ro/upload/16089_13%20TRANSPORTURI.pdf)
75. \*\*\* [www.delhitrafficpolice.nic.in/traffic-history.htm](http://www.delhitrafficpolice.nic.in/traffic-history.htm) – History of world traffic.
76. \*\*\* [www.eea.europa.eu/ro/publications/...3/download](http://www.eea.europa.eu/ro/publications/...3/download).
77. \*\*\* [www.eufinantare.info](http://www.eufinantare.info) – Fonduri Europene în România.
78. \*\*\* [www.insse.ro](http://www.insse.ro) – Institutul Național de Statistică
79. \*\*\* [www.istoricauto.ro/istorie](http://www.istoricauto.ro/istorie) – Istoria-automobilului.
80. \*\*\* [www.mmediu.ro](http://www.mmediu.ro) – Ministerul Mediului și Pădurilor.
81. \*\*\* [www.mt.ro](http://www.mt.ro) – Ministerul Transporturilor și Infrastructurii.



## Bibliografie

82. \*\*\*<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5183-0.pdf>.

83. \*\*\*<http://ntl.bts.gov/lib/6000/6300/6333/indicall.pdf>.

84. \*\*\*<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/ch8c1en.html>

## LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE

### Cărți:

1. Herman Alexandru, Stoicescu George, Herman Cristian, Cara Petru, *Căi ferate. Elemente de proiectare, construcție, întreținere și exploatare*, Editura Mirton, Timișoara, 2003
2. Herman Alexandru, Köllő Gavril, Herman Cristian, *Căi ferate. Alcătuirea suprastructurii*, Editura Eurostampa, Timișoara, 2014

### Lucrări științifice:

1. Herman Alexandru, Herman Cristian, *Calculul forței critice de pierdere a stabilității căii fără joante la temperaturi ridicate în șine*, Primul Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 24 – 25 octombrie 2002, pag. 111 – 116;
2. Herman Alexandru, Cara Petru, Herman Cristian, *Considerații privind sporirea vitezei maxime pe liniile de cale ferată existente*, Primul Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 24 – 25 octombrie 2002, pag. 117 – 124;
3. Herman Alexandru, Herman Cristian, Cara Petru, *Considerații privind rampa supraînălțării*, Primul Simpozion Național de Căi Ferate, București, 24 – 25 octombrie 2002, pag. 125 – 132;
4. Herman Alexandru, Cara Petru, Herman Cristian, *Considerații privind elementele geometrice ale liniilor de tramvai*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 22 – 23 mai 2003, pag. 499 – 503;
5. Herman Alexandru, Herman Cristian, *Curbe de racordare noi*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 22 – 23 mai 2003, pag. 504 – 508;
6. Herman Alexandru, Herman Cristian, Silaghi Remus, *Câteva considerații privind denivelările transversale și deraierea materialului rulant*, Al II-lea Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 30 – 31 octombrie 2003, pag. 55 – 61;
7. Herman Alexandru, Herman Cristian, Silaghi Remus, *Considerații privind deformațiile liniilor de cale ferată*, Al II-lea Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 30 – 31 octombrie 2003, pag. 67 – 74;
8. Herman Alexandru, Herman Cristian, Silaghi Remus, *Diagrame de eforturi și deplasări la calea fără joante în ipoteza rezistenței longitudinale „p” cu variație*

## Lista lucrărilor publicate

- liniară*, Al II-lea Simpozion Național de Căi Ferate cu participare internațională, București, 30 – 31 octombrie 2003, pag. 75 – 82;
9. Herman Alexandru, Silaghi Remus, Herman Cristian, *Reabilitarea liniei de cale ferată București-Arad-Curtici. Impactul asupra mediului*, A V-a Conferință Națională Drumul și Mediul Înconjurător, Băile Herculane, 2 – 4 octombrie 2003, pag. 46.- 49;
  10. Herman Alexandru, Herman Cristian, *Considerații privind rampa supraînălțării*, Zilele Academice Timișene ediția a XII-a, Timișoara, 26 – 27 mai 2011, pag. 362 – 365;
  11. Herman Alexandru, Herman Cristian, *Racordarea curbelor alăturate de sens contrar la calea ferată*, Al X-lea Simpozion național de căi ferate, cu participare internațională, Concepte noi în realizarea și modernizarea liniilor de cale ferată, București, 27 – 28 octombrie 2011, pag. 51 – 54;
  12. Herman Alexandru, Herman Cristian, *Considerații privind rampa supraînălțării*, Zilele Academice Timișene ediția a XIV-a, Timișoara, 23 – 24 mai 2013, pag. 23 – 27;
  13. Herman Cristian, Nagy Jozsef, Herman Alexandru – *Considerații privind liniile de tramvai "verzi"*, Zilele Academice Timișene ediția a XIV-a, Timișoara, 23 – 24 mai 2013, pag. 126 – 133;
  14. Herman Alexandru, Nagy Jozsef, Herman Cristian, *Structuri speciale vibroabsorbante*, Zilele Academice Timișene ediția a XIV-a, Timișoara, 23 – 24 mai 2013, pag. 194 – 197;
  15. Nagy Jozsef, Köllő Gavril, Herman Cristian, Herman Alexandru, *Considerații privind proiectarea liniilor de tramvai 1-3 din Szeged*, Revista Technical Review, Cluj-Napoca, nr.64/2014, pag. 36 – 40;
  16. Nagy Jozsef, Köllő Gavril, Herman Cristian, Herman Alexandru, *Tram lines design for section 1-3 in Szeged* (limba maghiară), Conferința Internațională de Construcții și Arhitectură, Șumuleu Ciuc, 2014.
  17. Herman Alexandru, Köllő Gavril, Herman Cristian, Nagy Jozsef, *Considerații privind ecranele acustice*, Zilele Academice Timișene, 28-29 mai 2015, ---
  18. Herman Cristian, Herman Alexandru, Köllő Gavril, Nagy Jozsef, *Poluarea fonică în zona căii ferate*, Zilele Academice Timișene, 28-29 mai 2015, ----
  19. Herman Alexandru, Herman Cristian, *Considerații privind protecția mediului în zona căii ferate*, Zilele Academice Timișene, 28-29 mai 2015, ---

20. Herman Alexandru, Herman Cristian, Köllő Gavril, *Considerații privind evoluția degradării liniilor ferate*, Zilele Academice Timișene, 28-29 mai 2015, ---
21. Herman Alexandru, Köllő Gavril, Herman Cristian, *Aspecte privind materialele utilizate la realizarea ecranelor acustice*, Conferința Internațională Club Feroviar Român, Brașov, februarie 2015, -----
22. Herman Alexandru, Köllő Gavril, Herman Cristian, *Considerații privind mecanica deraierii roților*, Conferința Internațională Club Feroviar Român, Brașov, februarie 2015, -----
23. Herman Alexandru, Herman Cristian, *Protecția mediului în zona căii ferate*, Conferința Internațională Club Feroviar Român, Brașov, februarie 2015, ---
24. Herman Alexandru, Herman Cristian, Köllő Gavril, *A lélegző szakasz hossza*, Conferința Internațională de Construcții și Arhitectură, 5-6 iunie 2015, ---
25. Herman Alexandru, Köllő Gavril, Herman Cristian, *Considerations regarding the calculation of concrete rail sleepers*, Revista Acta Technika Napocensis, Cluj-Napoca, ----
26. Nagy Jozsef, Juhasz Károly Péter, Herman Alexandru, Herman Cristian, *Az első, műanyag szállal erősített és fűvesített villamospálya (1-rész), A szgedi 1-es és 3-as villamosvasút tervezése*, Revista Sínek világa, Budapest, nr.2/2015, pag. 18-21.