

INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA”
IM. SOAR.

FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. TACHE PÂRVULESCU

CONTRIBUTII LA STUDIUL INFRASTRUCTURILOR DE CALE FERATA SUB INFLUENTA SOLICITARILOR DINAMICE PRODUSE DE TRAFIC

TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

CONDUCATOR STIINTIFIC
Prof. Dr. Ing. MARIN PĂUNESCU

TIMISOARA 1989

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA	CA
CENTRALA	
Volumul Nr.	542.748
Dulap	361 '11. G

PREFATA

Amplul program de modernizare și dezvoltare a economiei naționale are în vedere pe lângă cele două sectoare de bază, industria și agricultura, și celelalte ramuri care condiționează bunul mers al activității la nivelul întregii țări. În acest context, un rol important revine transporturilor de toate genurile, fără de care este de neconceput o economie avansată.

Dintre mijloacele de transporturi terestre, mari avantaje prezintă calea ferată (transporturi rapide, economice, fiabile, penetrante și de mare capacitate), aceasta ocupând un loc de frunte în competiția cu celelalte mijloace uzuale de transport (auto, naval și aerian). Acesta este motivul pentru care statul nostru a alocat și alocă importante fonduri transporturilor feroviare. Pe lângă dezvoltarea extensivă, concretizată în construcția de linii noi (ca de exemplu: Pașcani-Tirgu Neamț, Băbeni-Berbești-Alunu-Tirgu Cărbunești, Vlcele-Râmnicu Vlcea) și dublarea a numeroase trasee existente, un mare accent se pune pe latura intensivă. În acest sens, prin modernizarea capacităților existente (cale, material rulant, instalații de cale, tehnologii de exploatare) se urmărește preluarea unor sarcini de trafic sporite. În ceea ce privește calea autorul a considerat că mai există multe posibilități de modernizare și adaptare a acesteia în ansamblu și a infrastructurii în special, la sarcinile de trafic actuale și de perspectivă.

Având în vedere aceste constatări, lucrarea de față încearcă să aducă o contribuție la procesul de înnoire al căilor ferate din țara noastră. Cercetările au avut ca obiectiv un element relativ nou al căii, respectiv substratul, ale cărui funcții nu erau în totalitate cunoscute și cu atât mai puțin se putea vorbi de existența unor criterii științifice referitoare la proiectarea, executarea și întreținerea sa. Denumirea sub care era cunoscut până de curând și anume de strat de repartiție, reflecta cu prisosință rolul ce se considera că-l îndeplinește în ansamblul căii. Schimbarea denumirii din strat de repartiție în substrat, s-a făcut pe baza cercetărilor

efectuate de autor, cercetări ce au permis evidențierea tuturor funcțiilor ce revin acestui element al infrastructurii, spulberindu-se vechea concepție ce atribuia o strictă specializare substratului, și anume aceea de repartizare a eforturilor pe care suprastructura le transmite terasamentului. Pe baza funcțiilor respective, s-au stabilit condițiile ce se impun substratului pentru a fi capabil să le realizeze și apoi criteriile pentru proiectarea, executarea și întreținerea lui.

Autorul studiază funcțiile substratului, făcând cercetări personale, începute încă din anul 1973, respectiv face analiza detaliată a fiecărei funcții îndeplinite de substrat în cale, stabilindu-se criteriile menționate anterior.

Plecând de la unele constatări făcute pe anumite linii ce prezentau instabilitate ridicată, autorul a ajuns la concluzia că absența sau calitatea necorespunzătoare a substratului sînt cauze ce au generat instabilitatea căii, motiv pentru care a considerat oportună declanșarea unor studii care să confirme sau să infirme posibilitatea îmbunătățirii stării căii instabile prin utilizarea unui substrat corespunzător. În același timp, pe baza literaturii de specialitate, s-a mărit sfera de cunoștințe referitoare la solicitarea dinamică a căii și a fenomenelor ce au loc în cale sub circulația materialului rulant, la metodele de calcul ale infrastructurii căii, comportarea pămînturilor sub influența solicitărilor dinamice, la modul în care substratul asigură protecția terasamentelor, la concepțiile pe plan mondial referitoare la substrat.

În vederea aprecierii deranjamentelor ce pot apare la cale în condițiile traficului modern, fiind posibilă în acest mod și evidențierea tuturor funcțiilor ce trebuie preluate de substrat, autorul a făcut o analiză critică a unor substraturi de cale ferată pe secțiuni de cale pe care infrastructura s-a comportat necorespunzător sub solicitările dinamice produse de trafic.

Analizînd pe rînd cele șase funcții pe care a rezultat că trebuie să le îndeplinească simultan substratul, autorul a stabilit condițiile ce se impun acestuia pentru ca el să fie durabil, rezistent, stabil și fiabil de-a lungul întregii perioade de serviciu în cale, la un preț de cost cît mai redus.

Pe baza cumulării condițiilor ce se impun substratului pentru a-și putea îndeplini fiecare funcție, au rezultat criteriile pe baza cărora este posibilă proiectarea substratului căii.

Pentru a întregi gama de probleme ridicate de realizarea și

conservarea unui substrat de bună calitate, autorul a studiat, experimentat și definitivat tehnologiile de punere în operă a substratului pentru toate cazurile întâlnite la executarea și întreținerea căii, respectiv linii noi, dublări de linii, refacții, reparații periodice și întreținere curentă.

Rezultatele obținute clarifică marea majoritate a aspectelor referitoare la substrat, astfel încât în urma generalizării lor (o mare parte au fost deja introduse în standarde, normative, instrucții) va fi posibilă proiectarea, executarea și conservarea în cele mai bune condiții a acestuia. În această situație, substratul nu numai că nu va mai constitui un punct slab al căii cum se întâmplă deseori, ci dimpotrivă, va contribui în mod esențial la stabilitatea căii în ansamblu. În momentul în care și la terasamente se vor adînci cercetările care să țină seama de fenomenele dinamice și hidrodinamice ce iau naștere în cale sub circulația materialului rulant, prin corelarea concluziilor respective cu cele prezentate în lucrarea de față, va deveni posibilă realizarea unor infrastructuri feroviare de înaltă calitate și eficiență.

La elaborarea tezei de doctorat am avut plăcerea de a fi îndrumat și sprijinit de mai mulți specialiști și colegi, cărora doresc să le transmit cele mai sincere mulțumiri și pe această cale.

Doresc în primul rînd să exprim toată grațitudinea și calde mulțumiri conducătorului meu științific, profesorul doctor inginer Marin Păunescu, pionier al introducerii aspectelor dinamice în geotehnica românească și promotor al aplicării lor în practică în toate domeniile înrudite, inclusiv la infrastructura căilor ferate. Pentru înalta competență, înțelegerea și tactul cu care mi-a călăuzit activitatea de-a lungul întregii perioade a doctoratului, în-suflîndu-mi încrederea, dorința de autodepășire, perseverența și exigența științifică, îi exprim caldă recunoștință și cel mai înalt respect.

Mulțumesc de asemenea cadrelor didactice din colectivul Catedrei de Drumuri, Fundații și Instalații în Construcții a Facultății de Construcții din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, pe care le-am simțit aproape, ca pe niște adevărați colegi și prieteni.

Adresez mulțumiri și colegilor mei, inginerii Surugiu Mircea, cercetător științific principal la I.C.P.T.T. București și Gheorghe Ion, inginer proiectant principal la I.P.C.F. București, care m-au sprijinit și încurajat.

- 1 -

1. STUDIU DOCUMENTAR CU PRIVIRE LA ALCATUIREA SI COMPORTAREA
INFRASTRUCTURII DE CALE FERATA SUB INFLUENTA SOLICITARILOR
DINAMICE PRODUSE DE TRAFIC

Analiza teoretică și în exploatare a comportării căii ferate sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic, cu referiri în special la infrastructură, permite tragerea unor concluzii utile studiilor ce și le-a propus autorul. În acest capitol, pe baza elementelor oferite de literatura de specialitate sau a unor elemente culese de autor, s-a făcut o trecere în revistă, concomitent cu o analiză critică, a modului în care calea ferată clasică poate fi utilă seriștelor de viitor, a concepțiilor privind alcătuirea, solicitarea și comportarea sa.

1.1. GENERALITATI PRIVIND ALCATUIREA SI SOLICITAREA DINAMICA
A CAILOR FERATE

Studiile privind comportarea căii sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic, presupun cunoașterea în prealabil a dispoziției constructive a căii ferate în ansamblu, a naturii și caracteristicilor solicitărilor dinamice ce se dezvoltă sub circulația materialului rulant, precum și a modului în care acestea se transmit căii. În cele ce urmează, se prezintă câteva aspecte ce rezultă ca urmare a cunoașterii situației referitoare la construcția și întreținerea căii ferate, aspecte culese din practică, respectiv bazate pe studiul unui mare volum de literatură.

1.1.1. Cu privire la calea ferată și alcătuirea sa

Studiile de prognoză [143], [149], [167] prevăd în unanimitate viată lungă transporturilor feroviare, transporturi ce vor fi și în viitor principalul mijloc de transport al economiilor dezvoltate.

Referitor la alcătuirea constructivă a căii ferate de perspectivă, aceleași studii recomandă calea clasică, ea fiind capabilă să preia fără probleme și în condiții optime sarcinile de perspectivă.

Căile neclasice (ca de exemplu cele cu sustentație pneumatică sau magnetică) [6], [61] nu sînt încă operaționale, iar pentru a deveni rentabile este necesară definitivarea unor soluții constructive care să presupună investiții cât mai mici. Chiar dacă sistemele respective își vor face debutul în exploatarea curentă la începutul mileniului următor, de ele vor beneficia în exclusivitate călătorii, mărfurile transportîndu-se tot pe cele clasice.

1.1.1.1. Calea ferată clasică și cerințele traficului modern

Dacă cu cîreca trei decenii în urmă se considera că actualul tip de cale ferată bazat pe contactul direct roată-șină va permite atingerea unor viteze maxime de 400 km/h [169], în momentul de față pe căile ferate franceze se testează superexpressul "Atlantique" care a reușit să dezvolte 400 km/h, ceea ce reprezintă un record absolut pentru căi ferate. În condiții normale de trafic, viteza de croazi-eră a superexpressului va fi de 300 km/h. Atingerea unor asemenea performanțe a fost posibilă ca urmare a îmbunătățirii continue a materialului rulant, a căii și instalațiilor feroviare.

Înainte de trecerea la introducerea în practică exploatarea curente a unor asemenea viteze, s-au efectuat numeroase experimentări, dintre cele mai importante fiind: 210 km/h în Italia în anul 1903 și 230 km/h în Germania în anul 1930 [158]. În Franța s-au efectuat în anul 1954 încercări cu viteza de 243 km/h și în anul 1955 cu viteza de 331 km/h. În exploatare s-a ajuns la 135 km/h în anul 1943, la 140 km/h în 1957, la 160 km/h în 1962 (trenurile Rheingold și Rheimpfeiler în FRG). În anul 1964 s-a depășit bariera celor 200 km/h odată cu inaugurarea cu prilejul Jocurilor olimpice de la Tokyo a liniei Tokaydo dintre Tokyo și Osaka.

Dar adaptarea căilor ferate la cerințele și exigențele beneficiarilor nu înseamnă numai creșterea spectaculoasă a vitezelor de circulație, ci și sporirea sarcinilor pe osie, făcîndu-se pași mari spre atingerea valorilor preconizate de circa 400 kN [169]. De asemenea, instalațiile de semnalizare, control și urmărirea desfășurării traficului permit circulația simultană a mai multor garnituri între două stații succesive, ceea ce contribuie la creșterea capacității de transport.

În contextul actual al crizei energetice, are loc o reconsiderare a transporturilor feroviare, în sensul că transportul auto este de preferat numai în cazul distanțelor scurte, pentru cele lungi și

foarte lungi, pe uscat, trenurile fiind de departe mai rentabile, mai ales în ceea ce privește transportul mărfurilor. De aceea se caută permanent adaptarea transporturilor feroviare la cerințele de trafic, adică modernizarea continuă a lor.

Referindu-ne la calea propriu-zisă, se constată că atât la CFR [7], [29], [41], [121], [154] cât și la alte administrații de cale ferată [1], [14], [28], [38], [117], [138] s-a căutat modernizarea cu prioritate a suprastructurii, neglijându-se aportul infrastructurii la asigurarea calității generale a căii. Rezultatele unui asemenea mod de abordare a problemei nu au întârziat să se arate, după o scurtă perioadă de îmbunătățire a stării căii, au apărut degradări rapide ale infrastructurilor insuficient pregătite pentru noile condiții de trafic.

1.1.1.2. Alcătuirea generală a căilor ferate clasice

Făcându-se abstracție de modernizările la care a fost supusă în timp cu scopul adaptării la condițiile de trafic, se poate afirma că în esență sistemul constructiv adoptat la realizarea primelor căi ferate din lume se regăsește pe toate magistralele feroviare, indiferent că este vorba de linii aflate în circulație de peste un secol sau de linii cu performanțe deosebite, abia date în circulație. Cadrul și înă-traversă ce preia încălcările produse de materialul rulant și pe care le transmite terenului prin infrastructură, este sistemul constructiv menționat și astăzi la alcătuirea căii ferate [4], [52], [62], [136].

Avându-se în vedere poziția și rolul fiecărui element component al căii, se face o grupare a lor în suprastructura și infrastructura căii. Suprastructura căii cuprinde lucrările destinate ghidării vehiculelor și măsorării rezistenței de înaintare (frezare, rostogolire etc.) a acestora [62]. Ea preia acțiunile transmise de materialul rulant (locomotive, vagoane) și le transmite, reduse corespunzător, infrastructurii căii. Suprastructura cuprinde și șinele, traversalele, materialul mărunț și prismele căii (fig. 1.1).

Infrastructura căii ferate reprezintă totalitatea lucrărilor din construcția unei căi ferate menite să învingă dificultățile date de gravitație și de condițiile naturale (topometrice, geotectonice, hidrologice etc.) și este alcătuită din terasament și lucrările de consolidare și protecție aferente (ziduri de aprijin, drenuri, dispozitive pentru scurgerea apelor de suprafață etc.), precum și

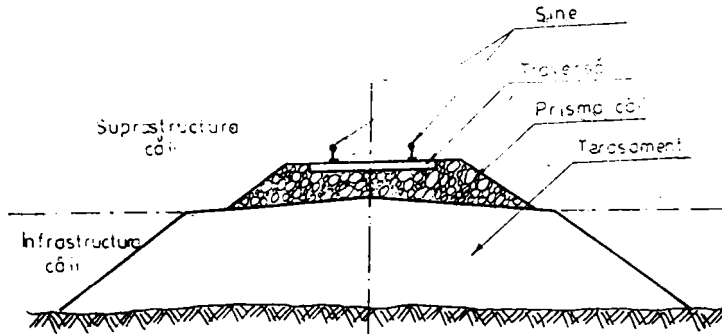


Fig. 1.1. Secțiune transversală prin calea ferată clasică.

lucrările de artă aferente. (poduri, viaducte și tuneluri).

În ultimul timp, impus de cerințele traficului modern, a apărut un nou element al infrastructurii, substratul (fig. 1.13, 1.14, 1.15).

De-a lungul timpului, această structură de rezistență simplă, compusă din două șini așezate pe reazeme transversale din lemn, beton sau metal, dispuse la distanțe egale pe un pat din balast sau piatră spartă, pat amplasat pe infrastructuri specifice, și-a probat disponibilitățile tehnice, adaptându-se la sarcinile de trafic tot mai grele ce i-au revenit. Chiar dacă prin ridicarea nivelului tehnic, respectiv creșterea vitezei de circulație și a sarcinii pe osie, s-au adus îmbunătățiri fiecărui element, structura de bază a rămas neșchimbată.

1.1.2. Aspecte privind solicitările dinamice produse de materialul rulant

Determinarea caracteristicilor solicitărilor dinamice la care sînt supuse elementele căii sub circulația materialului rulant, comportă două aspecte distincte și anume: cunoașterea pe de o parte a caracteristicilor solicitărilor dinamice produse de materialul rulant aflat în mișcare, iar pe de altă parte a modului în care aceste solicitări dinamice se transmit la suprastructura și infrastructura căii.

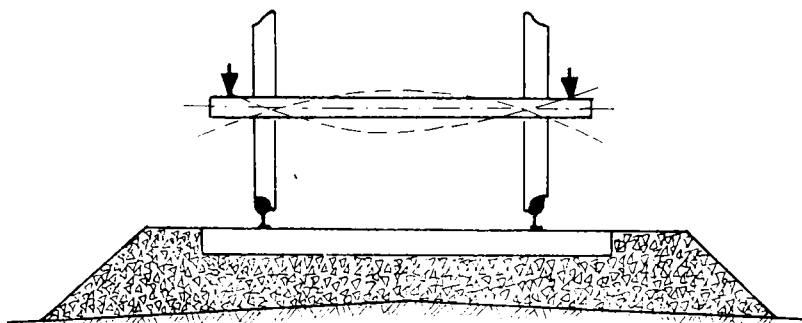
Solicitările dinamice ale căii apar atât ca urmare a circulației trenurilor, cât și ca urmare a transmiterii la cale a șocurilor și vibrațiilor ce apar la materialul rulant [78], [79], [85]. Solicitățile datorate circulației sînt generate în principal de tasarea elastică

a șinelor sub greutatea transmisă de roți, precum și de deforma-
rea osiilor și roților materialului rulant.

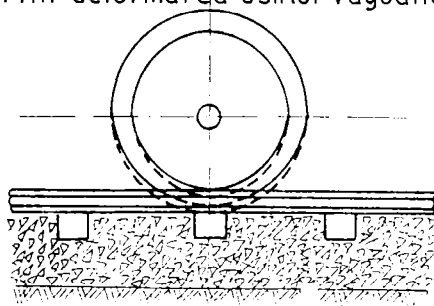
1.1.2.1. Solicitățile dinamice produse de materialul rulant

În circulație, osiile, suspensiile și caroseriile vagoanelor și locomotivelor produc vibrații chiar și în cazul unei căi ideale (perfect plană și nedeformabilă) [142]. Vehiculele cu osii montate rigid (suspendate sau în boghiuri) generează cele mai multe oscilații.

Greutatea vagonului și a încărcăturii solicită capetele osiilor, provocând o deformare a acestora (fig. 1.2 A). Ca urmare a



A. Prin deformarea osiilor vagoanelor



B. Prin deformarea roților vagoanelor.

Fig. 1.2. Producerea vibrațiilor de către osiile montate.

acestui fenomen, se produce o undă transversală permanentă. Vibrațiile interferate ale roților și într-o măsură mai redusă ale caroseriilor, se manifestă ca vibrații armonice. Datorită contactului direct roată-șină, roțile transmit toate aceste mișcări în care sînt angrenate masele mari ale întregului vagon, șinelor și

traverselor, elemente cu masă mică comparativ cu cea a vehiculelor. În urma comprimării jumătății inferioare a roților sub greutatea vehiculelor, în sistem se introduc și unde longitudinale (fig. 1.2 B).

Sub circulația materialului rulant se produc de asemenea șocuri și vibrații [51]. Ele sînt provocate de frînarea și demararea materialului rulant, de înălcări necentrate, de suspensii neechilibrate sau defecte. Șocurile mai apar și ca urmare a modificărilor jocurilor sistemelor de cuplare-decuplare, depinzînd și de tipul mării transportate.

Joantele slab întreținute (șine cu fețe de rulare deformate, traverse neburate, joante noroioase, prinderi slăbite etc.) favorizează transformarea vibrațiilor ce apar în mod normal la trecerea materialului rulant, în șocuri [15], [54], [65], [87], [133], [156].

1.1.2.2. Influența caracteristicilor constructive ale materialului rulant și ale oăii asupra caracteristicilor solicitărilor dinamice

Studiile și cercetările efectuate asupra materialului rulant în ceea ce privește dinamica rulării [45], [46], [51] au arătat că elementele constructive ale vehiculelor feroviare își pun amprenta asupra caracteristicilor solicitărilor dinamice ce apar în timpul mersului.

Dacă asupra unora dintre ele se poate acționa în sensul ameliorării caracteristicilor dinamice, ca de exemplu: suspensii, suprafețe de rulare, altele, ca de exemplu: profilul bandajului, contra-greutăți, angrenaje cu roți dințate, fiind soluții constructive unice, se acceptă ca atare [51]. Principala sursă de vibrații este impactul roților din oțel cu șinele construite din același material, impact ce dă naștere la vibrații pe direcție orizontală și verticală [47].

Inscrierea în curbe și centrarea materialului rulant pe șină sînt mult ușurate de conicitatea bandajului roților cu înclinarea de 1:20 [45], [46]. Această înclinare, buza bandajului roților precum și geometria oăii, sînt cauza apariției majorității vibrațiilor laterale care produc șerpuirea osiilor, rotind întregul boghiu și făcîndu-l să oscileze în limitele date de cale. Considerînd vagonul rigid, oscilațiile acestuia sînt identice cu cele ale unui sistem cu șase grade de libertate, distingîndu-se următoarele categorii de oscilații: verticale, laterale, longitudinale, de răsucire (șerpuire), tanga și legănare.

Datorită jocului dintre buza bandajului și șină, aceste vibrații se produc atât în curbe cât și în aliniament[1],[115].

În general banda de frecvențe ce apar la contactul roată-șină are domeniul cuprins între 0 și 5.000 Hz[51]. Vibrațiile cu frecvențe cuprinse între 2,5...7,5 Hz sînt atribuite sistemelor de suspensie cu arcuri, cele cu frecvențe de 50...70 Hz fiind produse de structura vagonului. Vibrațiile cu frecvențe de peste 70 Hz se amortizează rapid ca urmare a accelerațiilor scăzute și nu prezintă interes pentru studiul comportării căii sub solicitările dinamice produse de trafic. Aceste valori au fost obținute în marea majoritate a cazurilor prin măsurători directe efectuate asupra locomotivelor și vagoanelor aflate în diverse regimuri de mers[30],[51]. Pe măsura perfecționării mijloacelor de investigare și a specializării aparatului matematic, a fost posibilă modelarea cu suficientă precizie a factorilor care influențează caracteristicile vibrațiilor ce apar atât la locomotive[41],[46],[47]cât și la boghiuri[79]și la vagoane[95]. Pe baza modelelor respective s-au determinat ecuațiile diferențiale de mișcare ale vehiculelor respective, punîndu-se în evidență factorii care influențează aceste mișcări și modul în care se poate acționa asupra elementelor vehiculelor respective în așa fel încît vibrațiile proprii ale acestora să fie cât mai reduse (îmbunătățirea suspensiilor, reducerea excentricităților, amortizarea unor surse de vibrații etc.) și în consecință și solicitarea dinamică a căii să fie diminuată cât mai mult.

1.1.3. Aspecte privind solicitarea dinamică a suprastructurii căii

Pe lângă șocurile și vibrațiile ce apar la materialul rulant chiar și în cazul în care acesta s-ar deplasa pe o cale ideală, suprastructura și prin ea infrastructura căii, sînt solicitate dinamic din acțiunile ce apar la contactul roată-șină dar și de solicitările dinamice apărute ca urmare a neregularităților căii, tesării elastice a acestora sub greutatea materialului rulant. În cazul vitezelor mari, sporirea solicitărilor este mult avantajată de aceste neregularități (coturi, deripări, denivelări, rigidități diferite la pasaje și poduri) [15],[24],[65],[98],[156].

Sub circulație, după o primă deformare, calea se găsește slăbită și poate ceda în continuare datorită unor forțe chiar mai mici

care se succed [78]. Prin sincronizarea locului respectiv din oale cu diagrama măsurătorilor experimentale, se constată că osiile conducătoare ale vehiculelor iau totdeauna aceeași poziție în spațiu. Aceasta înseamnă că suprastructura și infrastructura căii sînt sollicitate pe locurile defecte în aceeași direcție. Defectele respective provoacă vehiculelor oscilații mari, majorînd acțiunile verticale ce acționează calea.

Vibrațiile apărute ca urmare a tasărilor cauzate de deformarea elastică a căii se manifestă atît în dreptul joantelor oit și a traverselor curente. Cu oit joantele sînt mai bine întreținute (rost mic, buraj corespunzător, capetele șinelor cu suprafețe de rulare plane, eclise mai rigide), cu atît deformațiile și implicit vibrațiile generate sînt mai reduse [142]. Dacă dimpotrivă, joantele sînt prost întreținute, ele devin surse de vibrații puternice care nu de puține ori au caracter de șoc.

Pe liniile întreținute, tasarea elastică a căii sub circulație este de ordinul a 1,5... 20 mm, pe cînd în cazul unei întrețineri mai slabe tasarea atinge 15...20 mm [60].

Sub convoi, la trecerea fiecărei osii, traversele sînt încovoiate elastic, devenind surse de vibrații transversale permanente [142]. În cazul sarcinilor repetate, traversele oscilează cu frecvența ei de bază. La viteze mici, frecvența acestor vibrații este funcție de distanța dintre traverse. Cînd vitezele de circulație cresc, valoarea frecvenței este influențată și de ampatamentul vehiculelor. De exemplu, la 120 km/h, pentru ampatamente de 2,5...3,2 m, frecvența vibrațiilor este de 10...15 Hz.

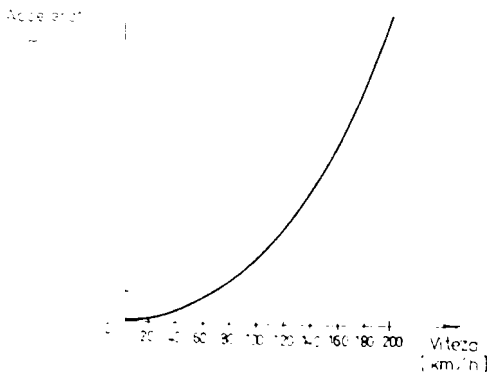


Fig. 1.3. Variația accelerațiilor vibrațiilor funcție de viteză.

În condițiile conlu-...
orării și acumulării deficiențelor materialului rulant cu cele ale căii, legile de variație ale caracteristicilor vibrațiilor sînt altele [47]. La viteze ce depășesc 120...140 km/h, are loc o amplificare rapidă a accelerațiilor după o lege p...ică [97] (fig. 1.3).

Creșterea accelerațiilor funcție de viteză conduce la creșterea vitezei de deformare a căii și creează defecte în oale [14].

Jocul mare dintre fața interioară a șinei și buza bandajului cu uzură mare (valoarea maximă a acestui joc admis de instrucții este de 35 mm) conduce de asemenea la sporirea solicitărilor dinamice la care este supusă calea [115]. Caracteristicile acestor vibrații sînt funcție de viteza de circulație, jocul dintre buza bandajului și șină, elasticitatea suspensiei, masa părților suspendate ale materialului rulant și neregularitățile căii.

Ca și în cazul materialului rulant, și în cazul studiului dinamic al suprastructurii, pe lângă măsurătorile directe din cale, s-au inițiat și cercetări pe modele simplificate precum și studii teoretice.

Plecîndu-se de la constatarea că în mod inevitabil trenurile de călători devin tot mai rapide iar cele de marfă tot mai grele [101], s-au efectuat încercări pe modele simplificate care au demonstrat că este posibilă circulația pe calea clasică îmbunătățită în vederea preluării corespunzătoare a solicitărilor dinamice ce au crescut odată cu viteza și sarcina pe osie, cu viteze de pînă la 500 km/h.

Procedeul cel mai folosit în studiile teoretice asupra suprastructurii este cel al considerării șinei ca o grindă infinit lungă, asemenea unei grinzi așezate pe mediu elastic [37]. Traversele deși sînt așezate transversal, se transformă la rîndul lor într-o traversă unică, dispusă longitudinal căii, menținîndu-se suprafața de rezemare. Din cauza ipotezelor insuficient de exacte (de exemplu masa rulantă ce vibrează împreună cu șina) nu este posibilă determinarea cu mare exactitate a frecvenței proprii a suprastructurii. În situația încălcării căii, frecvența proprie se reduce, fiind influențată de modul de construcție al materialului rulant.

Comparînd valorile determinate teoretic [15], [47] cu cele măsurate în cale [24], [30], [80], [97] rezultă o apropiere sensibilă între acestea, ceea ce denotă că în situația modelării apropiate de cazul real, rezultatele teoretice concordă cu cele măsurate direct.

Același lucru se poate afirma și în cazul studiului teoretic al deplasării dinamice a șinei funcție de viteză [14], valorile stabilite teoretic concordînd cu cele măsurate direct sub circulație [60].

Tinîndu-se cont de multitudinea de parametri ce trebuie avuți în vedere la simularea teoretică precum și de caracterul limitativ al aparatului matematic, studiile teoretice privind solicitarea dinamică a suprastructurii căii se folosesc împreună cu determinările directe, verificîndu-se și completîndu-se reciproc.

În ceea ce privește solicitările dinamice produse de circulația materialului rulant asupra suprastructurii, s-a făcut în primul rând o trecere în revistă calitativă a fenomenelor și efectelor, deoarece obiectul cercetărilor ulterioare ale autorului îl constituie infrastructura căii. Există importante deosebiri cantitative între solicitarea dinamică a infrastructurii și cea a suprastructurii în ceea ce privește mai ales eforturile ce iau naștere în fiecare dintre ele. În studiul infrastructurii interesează în primul rând acțiunile verticale, pe când în cazul suprastructurii sînt importante și cele ce apar transversal căii. Vibrațiile ce apar în suprastructură se transmit cu aceleași caracteristici infrastructurii, dar parțial amortizate. De aceea, unde s-a considerat necesar s-au detaliat elementele prezentate în literatură referitoare la solicitarea dinamică a infrastructurii căii.

1.1.4. Aspecte privind solicitarea dinamică a infrastructurii căii

Studiul solicitării dinamice a infrastructurii căii se consideră necesar din două motive, și anume: sub circulația materialului rulant, pe lângă vibrații apar și solicitări diferite de cele produse în cazul acționării statice a garniturilor feroviare iar pe de altă parte, comportamentul dinamic al pământurilor din infrastructură este mult diferit de cel static.

1.1.4.1. Influența solicitărilor dinamice asupra eforturilor din infrastructură

Cercetările avînd ca obiectiv solicitarea dinamică a infrastructurii feroviare au urmărit în primul rînd stabilirea dependenței dintre viteze de circulație și eforturile ce iau naștere în acestea. La CFR [24], [30], [43], [44], [87], [129] valoarea eforturilor s-a determinat cu doze echipate cu traductori tensoelectrice rezistivi. Dozele au fost amplasate sub talpa traverselor la adîncimea de 45 cm, într-un strat din balast de rîu colmatat. S-au măsurat eforturile de-a lungul traversei (fig. 1.4) și în dreptul punctului de rezemare a șinei pe traversă (fig. 1.5) pentru diverse viteze de circulație. Se remarcă - în regim dinamic eforturile sub talpa traversei sînt mai mari în dreptul șinelor și mai mici în general spre capete și mijle-

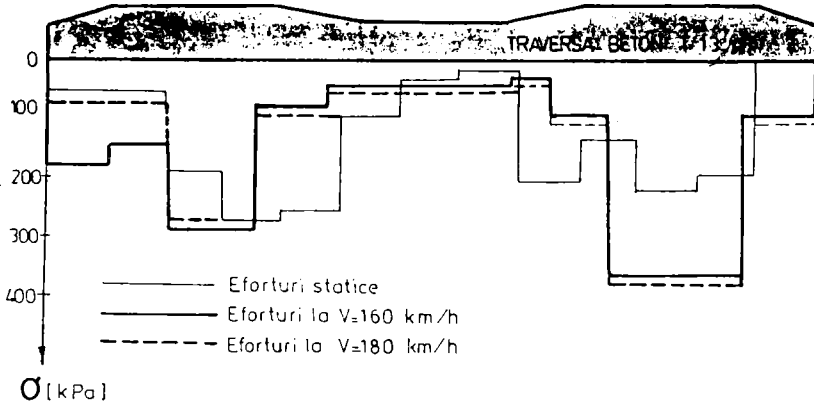


Fig. 1.4. Distribuția eforturilor medii în infrastructură la 45 cm sub talpa traversei, în regim static și dinamic.

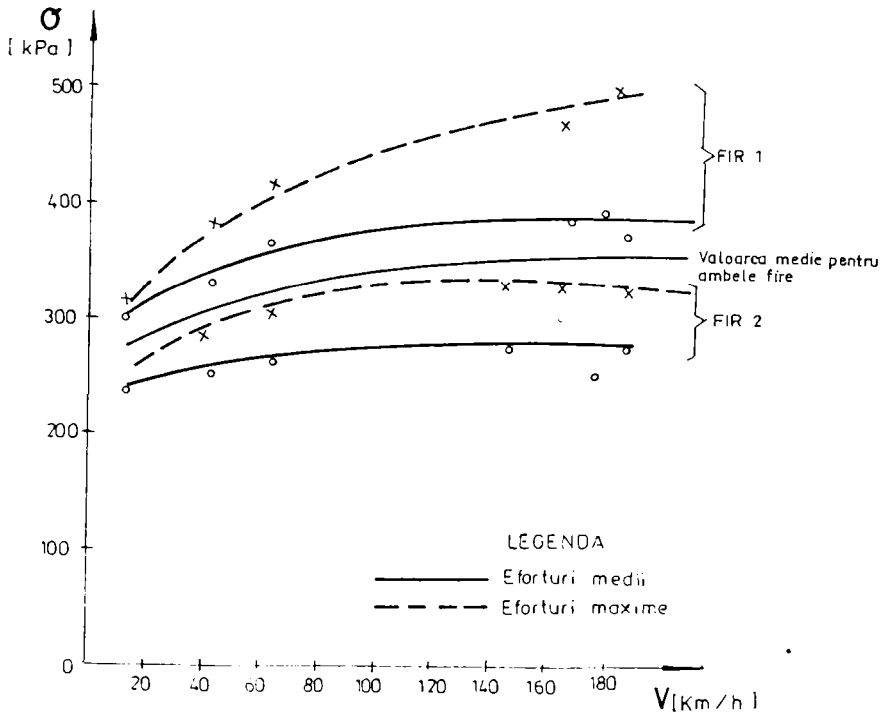


Fig. 1.5. Distribuția eforturilor în infrastructură în dreptul punctului de rezemare a șinei pe traversă, la 45 cm sub talpa traversei, funcția de viteză.

cul traverselor, comparativ cu solicitările statice. Ele au o creștere neliniară cu viteza, semnificându-se o aplatizare a lor la viteze mari. Tendința de creștere a presiunilor maxime este mai accentuată ca cea a presiunilor medii.

În ceea ce privește variația eforturilor cu viteza de circulație, se constată o proporționalitate directă a lor pînă la viteze de 70... 80 km/h, după care are loc o aplatizare a curbei de variație. Acest lucru se explică prin inerția sistemului șină-traversă-prisma oșii, care crește odată cu viteza.

Principala concluzie la care s-a ajuns este că deși nu se produc creșteri importante ale eforturilor în infrastructură pe măsura creșterii vitezelor de circulație, solicitarea dinamică a infrastructurii nu trebuie neglijată deoarece există o comportare complet diferită a pământurilor coezive și necoezive sub influența eforturilor repetate și a vibrațiilor produse de trafic [34], [48], [66], [89], [103], [118], [119], [135].

1.1.4.2. Propagarea vibrațiilor în infrastructura oșii

În pământuri, vibrațiile se propagă sub formă de unde [21] și anume:

- unde longitudinale (de dilatare sau compresie) ce produc numai variații de volum;
- unde transversale (de rotație) ce produc numai variații de formă.

Ele se propagă sub formă sinusoidală. Ca urmare a numărului mare de factori ce le generează și le influențează, aceste vibrații au caracter neliniar, producîndu-se și o amortizare a lor.

Undele transversale ce apar în teren pot fi preluate și se propagă numai în mediile care au rezistență la forfecare sau întindere, pe cînd cele longitudinale pot fi preluate de orice corp care opune o rezistență funcție de modulul de elasticitate [142]. Deci undele longitudinale se pot propaga în toate pământurile afinate și compacte, coezive și necoezive.

Energia vibrațiilor crește proporțional cu creșterea sarcinilor pe osie și a vitezelor de circulație [79], [97], [100], ca urmare a creșterii frecvențelor și amplitudinilor vibrațiilor comparativ cu dublul vitezei. În urma propagării vibrațiilor în infrastructură, are loc un fenomen de amortizare care se datorește deformării plastice a pământurilor și mai ales disipării energiei prin fenomene de amor-

tizare cu caracter elastic.

În infrastructurile de cale ferată, care sînt anizotrope și stratificate [142], apar reflexii ale undelor (schimbări ale direcției de propagare) și refracții (frîngerii ale acestei direcții). Prin trecerea dintr-un mediu mai compact în altul mai moale, vibrațiile sînt parțial reflectate și se propagă în continuare cu energie și amplitudine redusă. Ca urmare a circulației materialului rulant, a fenomenelor de reflexie și refracție, vibrațiile în infrastructură sînt întreținute (fig. 1.6).

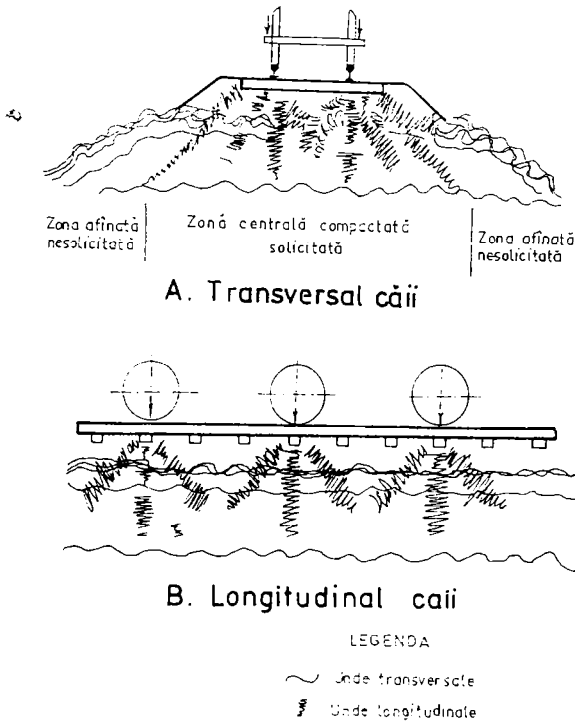


Fig. 1.6. Propagarea vibrațiilor în terasamente.

Vibrațiile produse de deplasările traverselor și de deformarea osiilor și roților sînt transmise prisme oă și înfrânturii mai ales ca unde longitudinale. Undele transverse și în cantitate mai redusă și pot fi neglijate. În direcția căii, vibrațiile se suprapun și se amplifică, pe cînd transversal ele se scourg de-a lungul taluzurilor. Datorită undelor permanente ce apar, sînt posibile unele fenomene

de rezonanță ce pot avea consecințe periculoase în cazurile în care frecvența excitatoare este apropiată de cea proprie.

Tasarea elastică a șinei și deplasarea pe verticală a traverselor sub circulația materialului rulant favorizează producerea fenomenelor hidrodinamice [106] care duc la înnoirea prismei oăii, traverselor [150] și a substratului necorespunzător [107]

1.1.5. Concluzii privind alcătuirea și solicitarea dinamică a oăilor ferate

Analiza sumară a principalelor studii și cercetări efectuate în țară și pe plan mondial referitoare la alcătuirea generală și solicitarea dinamică a oăilor ferate desprinsă din bibliografia menționată, permite tragerea următoarelor concluzii:

1.- calea ferată este și va fi și în continuare principalul mijloc de transport pe uscat;

2.- în alcătuire clasică, modernizările de rigoare aduse oăii, materialului rulant, instalațiilor și organizării transporturilor, vor permite satisfacerea deplină a sarcinilor și cerințelor beneficiarilor, fiind posibilă atingerea și depășirea vitezelor de 400 km/h și a sarcinilor pe osie de 250...300 kN;

3.- practica exploatării a demonstrat că în alcătuire clasică, calea ferată este capabilă să preia în bune condiții sarcinile de trafic ce i-au revenit, ca urmare a modernizării permanente a elementelor sale. Ea va fi capabilă și în viitor să răspundă sarcinilor ce-i vor reveni;

4.- sub influența circulației materialului rulant, pe lângă solicitările dinamice proprii, în cale se induc și importante solicitări dinamice cauzate de conlucrarea dintre cale și materialul rulant. Datorită faptului că pământurile din infrastructura oăii se comportă diferit sub influența solicitărilor dinamice și a vibrațiilor comparativ cu solicitările statice, se impune studiul comportamentului infrastructurilor feroviare sub influența solicitărilor dinamice;

5.- pe lângă studiul dinamic al infrastructurilor, este necesar și studiul hidrodinamic al acestora, având în vedere faptul că apariția fenomenelor hidrodinamice provoacă mari deranjamente infrastructurilor atunci când ele nu sînt judicios concepute și executate, un rol deosebit de important sub acest aspect revenind substratului.

1.2. COMPORTAREA INFRASTRUCTURII SUB SOLICITĂRILE DINAMICE PRODUSE DE TRAFIC

Sesizîndu-se faptul că fără adaptarea permanentă a oăii la sarcinile de trafic în continuă creștere nu este posibilă preluarea acestora în bune condiții, specialiștii feroviari s-au preocupat de modernizarea continuă a oăii. Căutîndu-se obținerea unor rezultate

cît mai spectaculoase și cu cheltuieli cît mai reduse, s-a căutat modernizarea cu prioritate a suprastructurii [7]. Au fost vizate atît materialele pentru suprastructură (șini de tip greu, prinderi elastice, traverse din beton precomprimat, piatră spartă cu o caracteristicii superioare) [10], [29], [37], [38], [41], calea de rulare (cale fără joante, joante speciale) [146], [154], procesele de întreținere a căii [83], [125]. De asemenea, metodele de calcul referitoare la suprastructură au fost permanent îmbunătățite, de la calcule de rezistență și stabilitate pentru fiecare element [39], [87], [120], ajungîndu-se pînă la studii de detaliu, ca de exemplu comportarea prismei căii în timpul cutremurelor [134].

Nu același lucru se poate afirma în cazul infrastructurii, deoarece atît metodele de calcul, cît și cele de execuție și întreținere sînt mult rămase în urmă în comparație cu cele aferente suprastructurii, față de cerințele traficului actual. Cauza principală a acestei rămîneri în urmă, consideră autorul, este insuficienta cunoaștere a aportului infrastructurii la asigurarea stării căii în ansamblu. Pe baza experienței acumulate în execuția, cercetarea, proiectarea tehnologică și studierea unei bogate literaturi, autorul apreciază că similar cu situația drumurilor [90], se poate afirma și la calea ferată că infrastructura hotărăște soarta căii. S-a constatat de nenumărate ori că o suprastructură oricît ar fi de bună, nu poate suplini a infrastructură slabă. Autorul consideră de asemenea că principalul factor care cauzează defectele infrastructurii este apa. În cele ce urmează se prezintă cîteva argumente în sprijinul acestor afirmații.

1.2.1. Aspecte privind comportarea infrastructurilor feroviare sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic

Neadaptarea căii în ansamblu și a infrastructurii în particular la condițiile de trafic, constituie motivul a numeroase deranjamente apărute la diverse administrații feroviare, inclusiv la CFR. Funcție de amploarea și caracterul lor, aceste deranjamente produc diverse obstrucții ale traficului, de la restricții de viteză, pînă la imposibilitatea circulației pe anumite sectoare de cale, toate acestea traducîndu-se în reducerea capacității de transport și scumpirea cheltuielilor de exploatare pe sectoarele respective.

Avînd în vedere că studiile ulterioare ale autorului se vor axa pe unul din elementele infrastructurii, respectiv substratul,

analize comportării infrastructurilor feroviare sub solicitările dinamice s-a făcut în legătură directă cu acesta. În acest sens, se menționează că principalul defect ce apare la infrastructură ca urmare a absenței sau calității necorespunzătoare a substratului o constituie pungile de balast din terasamente, motiv pentru care în scopul evitării apariției lor sau a remedierii situației se introduce substratul [82], [93], [94]. În legătură directă cu absența sau calitatea necorespunzătoare a substratului, ceea ce conduce la stagnarea perioade îndelungate sau chiar în permanență a apei pe terasamente, se află și alte deranjamente ce apar la terasamente (ebulmente, alunecări, tesări, surpări etc.) dar acestea nu au drept cauză principală substratul ci alte motive ce nu fac obiectul studiilor efectuate de autor, ca de exemplu: neadaptarea corespunzătoare a terasamentelor la teren, greșeli de execuție și proiectare, calamități.

Pungile de balast sînt fenomene specifice terasamentelor feroviare [82]. Ele evoluează de la simple albieri transversale și în lung ale feței superioare a terasamentului (fig. 1.7), pînă la pungile de balast propriu-zise ce pot atinge adîncimi de ordinul a mai multor metri (fig. 1.8). Cauza apariției și evoluției lor o constituie pătrunderea pietrei sparte din prisma căii sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic, în corpul terasamentului slăbit în permanență de apa ce nu mai are nici-o posibilitate de evacuare de pe fața superioară a terasamentului.

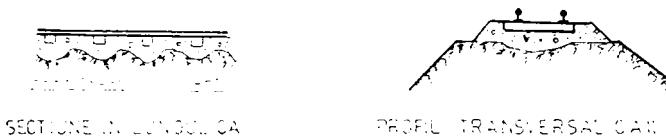


Fig. 1.7. Albii de balast

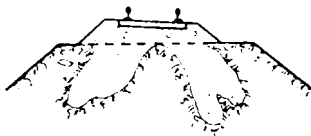


Fig. 1.8. Pungi de balast.

Acest tip de defect major al căii care are cauză principală a suprafluenței și siguranței traficului feroviar, cu el confruntându-se un număr mare, imens de la CFR [82], [106], [127], [150] cât și de la alte numeroase administrații feroviare [31], [49], [91], [122], [142]. De aceea, atât în țara noastră [147], [151] cât și în celelalte țări ce se confruntă cu asemenea probleme de întreținere [15], [73],

[94],[171], s-au studiat procedee și tehnologii pentru eliminarea lor. Semnificativ pentru amploarea și problemele ce le ridică, este faptul că nu puține sînt cazurile în care s-au conceput utilaje speciale pentru eliminarea pungilor de balast, inclusiv la CFR[36],[47].

Pe rețeaua CFR există numeroase sectoare de cale cu punji de balast aflate în diverse stadii de evoluție. Astfel, pe anumite sectoare de pe liniile Deda-Sărățel, Urziceni-Tîndărei, Sibiu-Copșa Mică, s-au format punji de balast pe lungimi de zeci de kilometri[82].

Apariția pungilor de balast se află în legătură directă și cu sporirea sarcinilor de trafic, apărînd ca o consecință directă a neadaptării infrastructurilor feroviare la condițiile de exploatare. Pe lîngă absența sau calitatea necorespunzătoare a substratului, apariția și evoluția ulterioară a lor sînt favorizate și de viciile de execuție apărute la construcția terasamentelor și în special la compactare, planșitate, continuitate și înclinare transversală a feței superioare a acestuia.

Fiind defecte majore ce afectează sau chiar periclitează siguranța și fluența traficului, se impun măsuri pentru evitarea declanșării acestui fenomen, iar în cazul în care el a apărut, se caută limitarea și eliminarea lui.

În ceea ce privește evitarea apariției pungilor de balast, soluțiile cele mai economice și sigure în același timp aflate la dispoziție, sînt executarea de calitate a terasamentului și introducerea unui substrat corespunzător[82],[106],[113].

De asemenea, această soluție este recomandabilă și pentru fazele incipiente ale pungilor. Pentru cazurile în care pungile au adîncimi mai reduse, de ordinul a 50 cm, se recurge la demontarea căii, eliminarea pungilor, recompartarea terasamentului în zona superioară, asigurarea pantelor plane și continui, introducerea substratului. Pentru cazurile mai deosebite, în care terasamentele prezintă vicii de compactare pe înălțimi mai mari sau pămînturile din terasamente sînt saturate cu apă, iar pentru urgentarea redeschiderii circulației se impun măsuri de izolare suplimentară a terasamentelor contra apelor din precipitații, se adoptă soluții cu straturi hidroizolante alcătuite din felii din polietilenă[40],[55],[123], bitum[23],[25],[57],[151](fig. 1.9 și 1.10), pe bază de ciment[97],[158]sau calcar[122].

Utilizarea geotextilelor este recomandabilă pentru prevenirea înnoririi prismei căii[63],[143],[174]. Ele se introduc în special

cu ocazia reparațiilor radicale, în paralel cu ciuruirea prismei oșii. Ca sistem constructiv, se adoptă aceeași soluție cu cea folosită în cazul protecției cu folii din polietilenă (fig. 1.9).

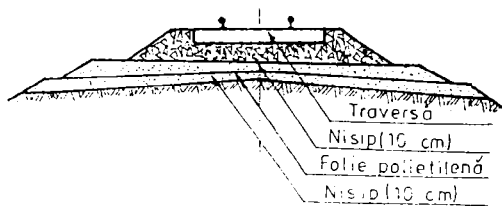


Fig. 1.9. Profil transversal prin calea prevăzută cu strat hidroizolant din folii din polietilenă.

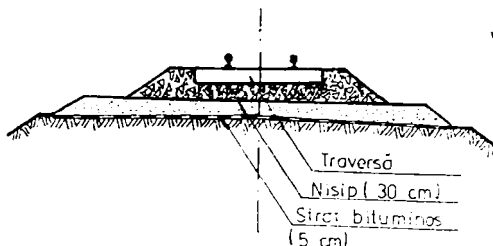


Fig. 1.10. Profil transversal prin calea prevăzută cu strat hidroizolant din bitum.

Datorită greutăților legate de aprovizionarea cu geotextile 82, prețului de cost mai mare comparativ cu cel al substratului, procedeul se folosește numai la reparațiile liniilor aflate în exploatare.

În situația în care pungile de balast au adâncimi de ordinul a 1,0...1,5 m, în special la rambleuri, se recurge la asanarea lor și consolidarea relativă a terasamentului prin drenaje [17], [73], [130], [155] (fig. 1.11).

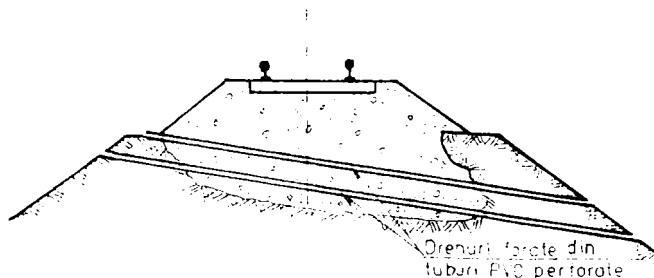


Fig. 1.11. Drenaje pentru asanarea pungilor de balast.

În afară de consolidarea parțială a pungilor și o impermeabilizare a lor, ceea ce conduce atât la creșterea portanței terasamentului, cât și la încetinirea vitezei de evoluție a pungilor.

Situația cea mai grea este cea a consolidării terasamentelor cu pungi ce depășesc 2 m adâncime. În asemenea cazuri calea prezintă instabilitate accentuată și singura soluție pentru rezolvarea radica-

ția pungilor de balast de dimensiuni medii, se recurge la injectarea lor cu diverse materiale, în special pe bază de ciment și silicoși [35], [99], [158], realizându-se pe

lă a situației o constituie refacearea completă și de calitate a în-
tregii infrastructuri (terasament și substrat) [127], [158]. Aceste
operațiuni se execută cu închideri mari de circulație, recurgându-
se de multe ori la variante provizorii pentru asigurarea circulației
ei trenurilor. Nu puține au fost cazurile în care datorită gravelor
defecțiuni ale terasamentelor, s-au abandonat traseele respective,
realizându-se infrastructuri noi, pe alte amplasamente.

1.2.2. Considerații privind metodele de calcul dinamic ale infrastructurilor feroviare

Dacă în ceea ce privește comportamentul dinamic al suprastruc-
turii situația este mai bună, în sensul că în ultimii ani s-au în-
registrat progrese evidente referitoare la calculul sub aspect di-
namic al elementelor de suprastructură, infrastructura este rămasă
și sub acest aspect în urmă. Metodele de calcul pentru elementele
de suprastructură și lucrări de artă au evoluat mai rapid decât cele
pentru infrastructură, astfel că în general ele au ținut pasul cu
evoluția mereu ascendentă a solicitărilor căii, permițând alcătuirea
unei suprastructuri care se comportă bine sub circulație [53], [133],
[134], [146], [156], [167], [168].

Metodele de calcul ale infrastructurilor bazate pe elemente cu
caracter static, conform cărora sarcinile ce le acționează sînt luate
în calcul amplificate cu un coeficient de impact, s-au dovedit a fi
necorespunzătoare mai ales în condițiile traficului modern [82], [98],
[112], [113], [163], impunîndu-se necesitatea îmbunătățirii metodelor
de calcul. Sesizîndu-se deosebirile cantitative și mai ales calita-
tive dintre comportamentul dinamic, real, din cale al infrastructu-
rii și cel static, au fost inițiate relativ recent studii în acest
sens.

1.2.2.1. Cercetări privind comportarea infrastructurilor sub influența solicitărilor dinamice

Cunoscînd faptul că sub influența solicitărilor dinamice pămîntu-
turile au o comportare complet diferită față de cazul solicitărilor
statice [11], [20], [34], [50], [58], [59], [67], [84], [86], [89], [96], [104],
[105], [137], cercetătorii feroviari au început studiul comportă-
rii pămînturilor din infrastructură și în special din terasamente,

sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic. Chiar dacă există unele deosebiri între fenomenele din oale și cele avute în vedere la studii (mai ales în ceea ce privește frecvențele și modelarea oșii), cercetările respective indică importanța ce va trebui să se acorde analizei sub aspect dinamic a comportării infrastructurilor feroviare.

Ca urmare a neconcordanței apărute între tasările măsurate și cele calculate în cazul terasamentelor, s-a studiat modul în care solicitările repetate influențează aceste tasări [6]. Încercările s-au efectuat cu placa, avându-se în vedere că valoarea tasărilor sub placă este funcție lineară cu presiunea și diametrul plăcii, modulul de elasticitate fiind o constantă a materialului. Studiile au arătat că aplicabilitatea relațiilor stabilite de Boussinesq pentru ipoteza semi spațiului elastic în scopul determinării tasării pământului sub placă circulară rigidă este condiționată de determinarea intervalului de variație a presiunii și mărimii diametrului plăcii pentru care modulul de deformare are valori constante.

Primele cercetări privind comportarea terasamentelor de oale ferată sub influența vitezelor, sarcinilor și traficului sporite, au avut un caracter global, apreciindu-se că accelerațiile produc reducerea portanței și amplificarea tasărilor [119]. Si aceste studii au confirmat că valoarea tasărilor depinde de mărimea și frecvența sarcinilor și de accelerația vibrațiilor, deci de viteza de circulație.

Cercetările sub aspect dinamic asupra argilelor din terasamentele feroviare au demonstrat că atita timp cât raportul dintre efortul axial și presiunea laterală nu depășește o anumită limită - așa zisul prag al eforturilor - pământul nu cedează, indiferent de traficul scurs [166], [170]. După depășirea pragului eforturilor, care în general este mai mic decât în cazul solicitărilor statice, pământul cedează. Deformațiile permanente cresc rapid și apare curgerea plastică. La unele pământuri, și anume la cele cu un conținut mare de praf și nisip, această limită nu este bine definită. În momentul aplicării sarcinilor repetate, se constată o reducere a volumului. La descărcare nu se mai revine la volumul inițial, iar presiunea apei din pori devine negativă. Pragul eforturilor nu constituie un parametru intrinsec unic la pământuri, ci depinde de efortul mediu efectiv al solicitării, de forma și frecvența undei de încărcare și de cronologia încărcărilor anterioare. Valoarea lui, determinată în condițiile încercărilor standard, poate fi utilizată la calculul fundației oșii care dă grosimea minimă a materialelor de sub traversă pentru o sarcină pe osie dată. De asemenea, pragul eforturilor poate fi utilizat și

la analiza comportării terasamentelor existente.

În condițiile traficului actual, efectul solicitărilor dinamice asupra prisme căii este mai mare la partea inferioară a stratului din piatră spartă de sub traverse, unde presiunile sînt mai reduse și porozitatea mai mare [117].

Încercările privind stabilitatea la outremure a prisme căii au demonstrat că aceasta este mai redusă cu 17...22% decît în cazul solicitărilor statice.

Aceste concluzii referitoare la prisma căii sînt deosebit de importante pentru infrastructură și în cadrul acesteia pentru substrat, relevîndu-se pe de o parte faptul că solicitările sînt mai mari decît în cazul unei repartiții statice uniforme, iar pe de altă parte, faptul că în condiții dinamice și stabilitatea lui este afectată comparativ cu cazul solicitărilor statice.

Una din condițiile importante ale studiilor privind comportarea dinamică a pămînturilor, relevă că în cazul unor asemenea solicitări este absolut obligatoriu ca tehnologia de execuție sau consolidare să cuprindă o fază bazată pe tehnica vibrării, prin introducerea fazei respective urmărindu-se consumarea încă din faza inițială a tuturor deformațiilor ulterioare ce ar putea apărea ca urmare a solicitărilor dinamice din exploatare [86]. Acest aspect, în actualele condiții de proiectare, execuție și întreținere a infrastructurilor ce au ca punct de plecare solicitarea statică, soapă, cu toate consecințele nedorite ce decurg de aici.

Influența metodei de compactare asupra gradului de îndesare este evidențiată de faptul că la același lucru mecanic utilizat la compactarea argilelor prin metode statice (cu presa) și dinamice (cu ciocanul Proctor), rezultă comportări diferite, în sensul că în cazul compactării dinamice se consumă un volum mult mai mare din tasări [92].

Comportarea unor terasamente ce-au suferit avarii în exploatare a impus analiza lor, stabilirea metodelor de compactare pentru fiecare caz în parte și compararea cheltuielilor oerute de o execuție inițială corespunzătoare cu cele consumate pentru executarea necorespunzătoare și consolidarea ulterioară [129]. Aceste analize au demonstrat eficiența sporită a execuției corespunzătoare a terasamentelor, cunoscînd faptul că orice lucrare de consolidare este deosebit de dificilă și costisitoare, de multe ori chiar imposibilă. Acesta este unul din motivele pentru care se consideră că infrastructurile feroviare trebuie să fie realizate de o asemenea manieră, încît să poată fi exploatate practic fără reparații [77].

Cercetările privind comportarea terasamentelor în general și a celor feroviare în special sub acțiunea seismelor [64], [56], [129], [132], [139] relevă că ele sînt deformate ou atît mai mult, ou oît solicitările seismice sînt de grad mai mare. Ca formă generală a deformației terasamentelor, se menționează tasarea prin refularea taluzurilor spre exterior și curgerea pămîntului spre bază, ajungîndu-se în cele mai multe cazuri la reducerea înălțimii terasamentelor la jumătate și evazarea bazei lor de o dată și jumătate, două ori.

Un aspect neglijat pînă în prezent și asupra căruia autorul consideră că este cazul să se îndrepte atenția cercetătorilor, este cel referitor la comportarea ansamblului terasament-substrat-suprastructură în prezența apei care se găsește o perioadă destul de lungă de timp în cale, chiar și la liniile bine întreținute. În acest fel se va putea stabili modul în care se comportă pămînturile din terasamente sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic, dar și a celor hidrodinamice produse de antrenarea apei ce apar în timpul deplasării materialului rulant.

1.2.2.2. Aspecte privind calculul dinamic al infrastructurilor feroviare

Deși în ceea ce privește dimensionarea sub aspect dinamic a infrastructurii s-au înregistrat unele progrese în sensul aprecierii mai exacte a fenomenelor ce au loc în cale și includerii lor în ipotezele de calcul, autorul consideră că atîta timp oît nu sînt cuprinse în calcule influența solicitărilor dinamice produse de trafic asupra caracteristicilor pămînturilor și nici fenomenele hidrodinamice ce apar în cale, nu se poate vorbi de un calcul dinamic corespunzător al infrastructurilor feroviare.

Marea majoritate a cercetărilor ce privesc calculul dinamic al infrastructurilor [4], [7], [25], [56], [72], [76], [77], [95], [98], [125], [131], [161], [165] se preocupă de dimensionarea straturilor ce le compun, în vederea preluării de către acestea a solicitărilor produse de trafic. Ele merg de la stabilirea pe baze empirice a dimensiunilor acestor straturi, pînă la procedeele de dimensionare folosite în teoria elasticității, multe inspirîndu-se din procedeele de dimensionare folosite la drumuri [18], [90].

Fiind cunoscute influențele reciproce ce au loc între infrastructură și suprastructură, se pot stabili etapele pentru dimensionarea infrastructurii funcție de sarcină și viteză, și anume [5]:

- determinarea caracteristicilor de capacitate portantă și de deformabilitate ale materialelor din care sînt alcătuite elementele căii la solicitările repetate cele mai defavorabile, posibile în exploatare;

- stabilirea condițiilor de contact și legătură între diferitele elemente ale căii, folosind măsurători în cale în diferite etape de exploatare;

- determinarea deformațiilor elastice ale căii care să asigure circulația cu vitezele prescrise în deplină siguranță;

- adoptarea unei metode de calcul pentru infrastructură și suprastructură care să permită dimensionarea pe baza unui model matematic determinat, astfel încît ipotezele luate în considerare să coincidă sau să fie apropiate de cele în care elementul căii lucrează în realitate.

Plecîndu-se de la cerințele de siguranța circulației, se apreciază că dimensionarea tuturor elementelor ce formează complexul infrastructură-suprastructură trebuie să aibă deformația admisibilă a căii în circulație.

În acest sens, de multe ori se stabilește drept criteriu al capacității portante, tasarea căii sub circulația materialului rulant [124]. Dimensionarea portanței straturilor aflate sub talpa traversei (piatra spartă, nisipul și pămîntul) se face în aceste condiții pe baza metodelor folosite la drumuri. Deformațiile acestor straturi se determină prin încercări cu placa. Este necesar a se ține seama de faptul că portanța este influențată de factorii hidrometeorologici, de caracteristicile pămînturilor din terasamente și de sezon, minima înregistrîndu-se primăvara.

Avînd în vedere că straturile aflate sub talpa traversei au caracteristici diferite, se impune înlocuirea actualei aprecieri globale a rigidității întregului pachet de straturi, caracteristicile alese urmînd să evidențieze contribuția fiecărui strat de sub talpa traversei [7]. Caracteristicile mecanice ale pămînturilor și materialelor granulare care alcătuiesc patul căii, cu ajutorul căror s-ar putea analiza contribuția fiecărui strat, sînt modulii de deformație, de elasticitate și coeficientii lui Poisson. Pe baza extinderii rezultatelor obținute în cazul drumurilor la calea ferată, este posibil calculul pe baza coeficientului de pat. Una din posibilitățile de determinare a unui coeficient de pat, care să țină seama de contribuția fiecărui strat, este echivalența expresiei deplasărilor la nivelul suprafeței pentru cele două tipuri de medii elastice. În acest mod este posibilă determinarea coeficientului

de pat al sistemului bi sau tristrat, în diferite alocări, prin calcul automat, sub rezerva verificării rezultatelor prin testări experimentale. Cercetările experimentale s-au făcut pe masive și sisteme bi și tristrat, încercările cu caracter repetat fiind transmise prin intermediul plăcilor circulare și dreptunghiulare rigide, cu suprafețe egale cu ale blochetului traversei de cale ferată. Ele au avut drept scop, pe lângă verificarea ipotezelor teoretice și determinarea contribuției fiecărui strat la valorile coeficientului de pat.

În scopul dimensionării infrastructurii oăii ținându-se cont de caracteristicile dinamice ale pământurilor din terasament, ceea ce reprezintă un progres notabil în activitatea de proiectare a infrastructurilor feroviare, s-au prelevat probe din pământul din terasament (argilă) care au fost supuse la sarcini dinamice [163]. Probele au fost solicitate dinamic pe direcție axială în aparatul triaxial dinamic, presiunea laterală din celulă rămânând constantă, cu valoarea de 35 kPa (se menționează că cercetările au fost efectuate în Anglia, în comunicarea acestora folosindu-se sistemul de unități tradițional britanic, transformarea acestora în unități internaționale fiind efectuată de autor). Pentru diverse valori ale efortului axial s-au întocmit diagramele număr de cicluri-deformații (fig. 1.12 A) care apoi au fost transpuse la scară logaritmică (fig. 1.12 B). Pe baza lor s-a stabilit diagrama care dă tasarea totală a probelor prin procente din înălțimea inițială pentru diferitele valori ale efortului axial dinamic și numărul de cicluri încercare-descărcare (fig. 1.12 C). În aceste diagrame, pentru efortul axial de 53 kPa apare o discontinuitate a curbelor, iar când acest prag este depășit, deformațiile cresc foarte repede, ceea ce indică cedarea probelor.

Cu ajutorul acestor diagrame precum și a diagramelor ce indică eforturile în terasament la diverse adâncimi pentru sarcina medie pe osie de 150 kN și 2 kN abatere în plus (fig. 1.12 D) pentru diferite probabilități de apariție a suprasarcinii (fig. 1.12 E) și având în vedere reacțiunile de pat la diverse viteze (fig. 1.12 F), se pot calcula grosimile minime ale straturilor drenante (piatră spartă și nisip) de sub talpa traversei pentru care este asigurată comportarea corespunzătoare a terasamentului argilos (presiunile ce se realizează efectiv pe fața superioară a lui pot fi preluate în cicluri nedefinite de încercare-descărcare, fără a apare tasări periculoase și remanente). De exemplu, pentru o sarcină pe roată de 150 kN, la o viteză de 100 km/h, pentru o probabilitate de apariție a suprasarcinii de 0,5%, rezultă o grosime totală a straturilor drenante de 115 cm. Când probabilitatea de apariție a suprasarcinii se alege de 5%, grosi-

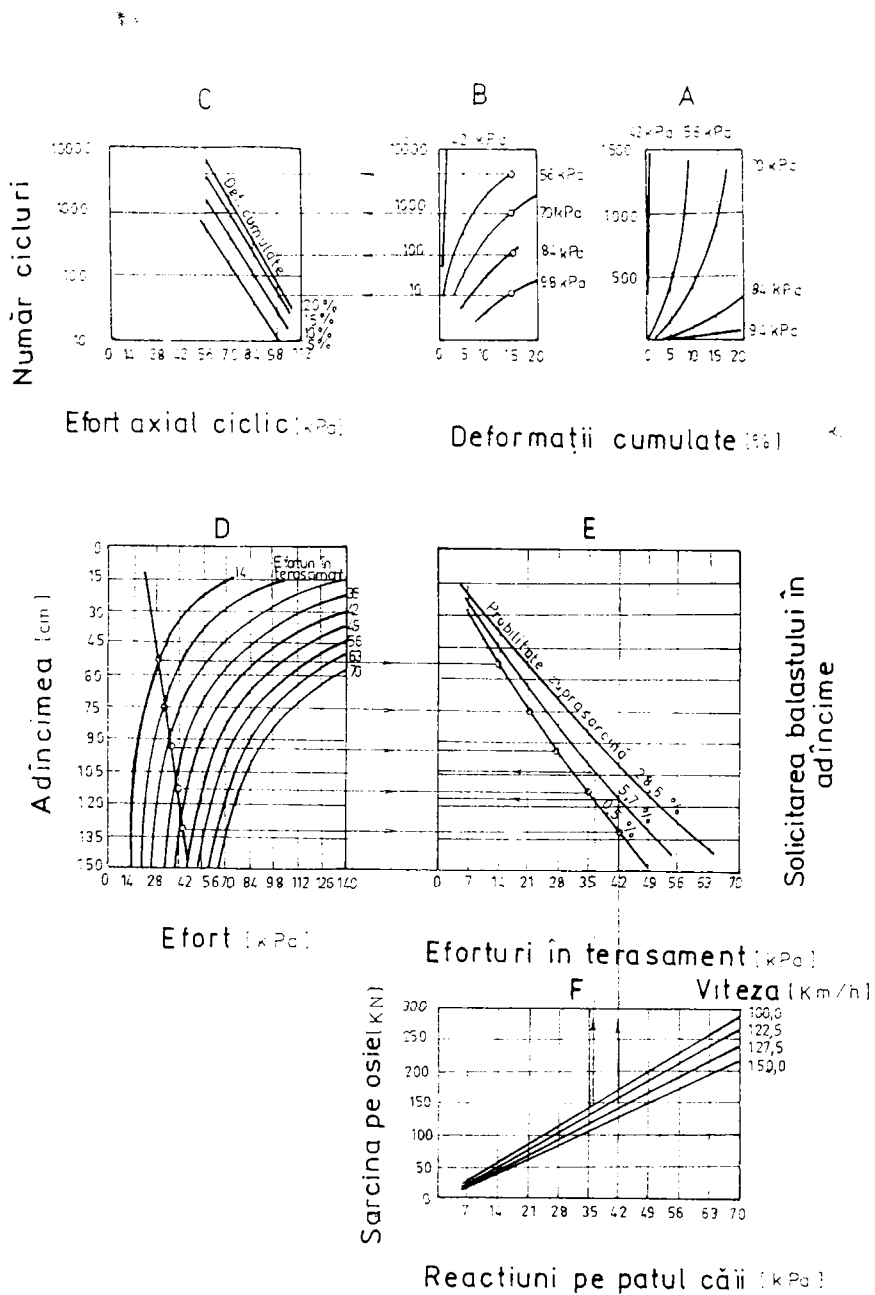


Fig. 1.12. Dimensionarea straturilor drenante de sub talpa traversei în funcție de caracteristicile dinamice ale pamintului din terasament, sarcina pe osie și viteza de circulație.

mea straturilor drenante se reduce la 105 cm, în acest caz creș-
când posibilitatea de apariție a unor deformații mărite ale teras-
amentelor sub sarcinile dinamice.

1.2.2.3. Concluzii asupra comportării și calculului infra- structurilor feroviare sub aspect dinamic

Studiul bibliografiei precum și urmărirea comportării sub cir-
culație a unor sectoare de cale cu defecțiuni de substrat, au rele-
vat:

1. - principala concluzie referitoare la comportarea infra-
structurilor cu defecte de substrat, este că sub circulația materi-
alului rulant pe zonele respective apar punji de balast;

2. - punjile de balast produc mari deranjamente în desfășura-
rea traficului feroviar iar eliminarea lor necesită cheltuieli ma-
teriale importante, motiv pentru care se impune prevenirea apari-
ției lor. Punjile pot fi prevenite sau asanate în faza incipientă
cel mai simplu și avantajos prin introducerea unui substrat cores-
punzător;

3. - metodele de calcul sub aspect dinamic ale infrastructuri-
lor feroviare sînt mult rămase în urmă față de realitățile trafi-
cului. Este necesară modernizarea lor prin introducerea calculului
cu specific dinamic care să cuprindă pe lîngă aspectele legate de
solicitarea dinamică a căii și modul în care se comportă pămînturi-
le din terasamente sub influența solicitărilor dinamice, precum și
fenomenele hidrodinamice ce iau naștere în cale în timpul deplasă-
rii materialului rulant.

1.3. CONCEPȚII ASUPRA SUBSTRATULUI CĂII

O perioadă îndelungată de timp, cînd vitezele de circulație și
sarcinile pe osie au fost reduse, substratul nu a existat ca element
component al căii. Prisma căii, sloțuită din balast de rîu, era
așezată direct pe terasament. În aceste condiții, oslea s-a compor-
tat relativ corespunzător la solicitările de trafic specifice peri-
odei respective. Treptat, pe măsură ce caracteristicile traficului
au devenit tot mai grele, s-a impus adaptarea căii la noile condi-
ții de exploatare. În procesul de modernizare s-a înscris și înlo-
cuirea balastului din prisma căii cu piatră spartă. La liniile afla-
te în circulație, înlocuirea balastului cu piatră spartă s-a făcut

prin ridicarea căii, nivelarea balastului care a constituit inițial prisma căii, așezarea căii pe acest pet și executarea prismei căii din piatră spartă. Liniiile noi s-au construit cu prisma căii din piatră spartă așezată direct pe terasament.

După o perioadă foarte scurtă de timp, s-a observat, mai ales în cazul liniilor cu prisma căii din piatră spartă așezată direct pe terasament, apariția unor deranjamente la terasamente, în special punși de balast, traverse noroioase și colmatarea prismei căii. La momentul respectiv s-a considerat că aceste defecte au apărut numai ca urmare a concentratorilor de eforturi produși de colțurile pietrei sparte. În punctele respective de pe fața terasamentelor s-au produs breșe prin care piatra spartă a pătruns în corpul terasamentului. În aceste condiții, pentru a se face trecerea treptată de la macrostructura pietrei sparte (cu grănuțele având dimensiunile cuprinse între 25... 63 mm) la microstructura pământurilor din terasamente (în cea mai mare parte de natură argilooasă), s-a introdus așa numitul strat de repartiție alcătuit din balast sau nisip de râu. Acesta a fost momentul introducerii substratului în componența căii, soluție constructivă de mare eficiență tehnico-economică, dar care pînă nu de mult era foarte puțin studiată, considerent ce-a stimulat autorul în abordarea unor studii sistematice a substratului căii.

1.3.1. Concepții asupra substratului căii la CFR

Si la CFR, odată cu creșterea sarcinilor de trafic, s-a simțit nevoia înlocuirii balastului din prisma căii cu piatră spartă "care asigură o stabilitate mărită căii la acțiunile din plan orizontal și vertical. Această operațiune a început în anii 1950...1955 și a constat la liniile existente în ridicarea căii deasupra balastului utilizat pînă atunci în prisma căii și executarea prismei din piatră spartă. La liniile noi, ca și pe plan mondial, prisma din piatră spartă s-a pozat direct pe terasament. Abia după anii 1965...1970 s-a trecut la introducerea stratului de repartiție. Cu toate acestea, aria defectelor de infrastructură nu s-a restrîns, oi dimpotrivă s-a extins, în paralel cu sporirea sarcinilor de trafic. Un exemplu elocvent în acest sens este noua linie Streheia-Insurăței, linie cu trafic greu de cărbune, care a trebuit să fie refăcută în întregime sub circulație (inclusiv stațiile) cu cheltuieli foarte mari, condițiile de exploatare îmbunătățindu-se abia după introducerea substratului. Situația de pe această linie precum și observațiile personale făcute

pe alte linii, au constituit pentru autor motivele declanșării în anul 1973 a unor studii sistematice asupra substratului, cu atât mai mult cu cât la aceea dată singura reglementare asupra stratului de repartiție era cuprinsă în STAS 3197/2-71 "Lucrări de cale ferată. Infrastructura căii. Profiluri transversale tip", revizuit ulterior în anii 1978 și 1988 [183], pe care le-a considerat ca total insuficiente față de funcțiile deosebite ce le are substratul.

Denumirea de strat de repartiție denotă funcția ce i-a fost atribuită acestui element al căii, respectiv de a repartiza eforturile ce se transmit terasamentului de către suprastructură. Referitor la alcătuirea sa, standardul menționat (la subpunctele indicate mai jos) face următoarele precizări:

2.3.2. La căi ferate simple, duble și triple, fața superioară a terasamentului de sub stratul de repartiție va fi amenajată cu pante transversale de 5% către taluzurile de rambleu sau către șanțurile de scurgere în debleu, pentru a se asigura scurgerea apelor de infiltrație.

La platformele rigide în stîncă nealterabilă, panta transversală poate fi micșorată la 3%.

La liniile din stații, triaje etc. cu platforme late, fața superioară a terasamentelor din pământ va fi amenajată cu profil frînt, cu coame și dolii intermediare, cu pante transversale de minimum 2%, asigurîndu-se scurgerea apelor din precipitații în lungul doliilor, la punctele de evacuare transversală a acestor ape.

2.3.3. Stratul de repartiție va fi alcătuit din nisip și pietriș neciuruit cu următoarele caracteristici granulometrice:

- nisip de 0,05...7 mm, STAS 662-69, cu granulație continuă și coeficient de neuniformitate mai mare de 7;

- pietriș neciuruit de 0,05...70 mm, STAS 2247-71, cu granulație continuă și coeficient de neuniformitate mai mare de 15.

2.3.4. Grosimile minime ale stratului de repartiție se consideră după compactare în următoarele poziții:

a) la cale simplă:

- în aliniament în dreptul șinelor;
- în curbă în dreptul șinei interioare.

b) la cale dublă:

- în aliniament în dreptul șinelor din vecinătatea axei platformei;
- în curbă în dreptul șinei interioare cea mai apropiată de axa platformei.

2.3.5 Grosimea minimă și alcătuirea stratului de repartiție,

funcție de natura terenului din terasamentul de sub stratul de repartiție, va fi:

2.3.5.1. Pentru pământuri coezive:

- 30 cm grosime, alcătuită din nisip la partea inferioară în strat uniform de 15 cm, din pietriș neociuruit la partea superioară, la liniile curente și directe din stații;

- 15 cm grosime, alcătuită din nisip, la alte linii decât cele arătate mai sus;

- 10 cm grosime, alcătuită din nisip-pentru linii înguste.

2.3.5.2. Pentru pământuri necoezive:

- 15 cm grosime, alcătuită din pietriș neociuruit, când terasamentul este alcătuit din nisip cu coeficient de neuniformitate mai mare de 7 sau din pietriș cu bolovăniș;

- 30 cm grosime, alcătuită din pietriș neociuruit, când terasamentul este alcătuit din nisip cu coeficient de neuniformitate mai mic de 7.

2.3.6. La rambleurile care se execută din stîncă derocată precum și deasupra drenurilor din piatră brută din spatele ouleelor podurilor, se va asigura executarea stratului de repartiție de 30 cm grosime, din piatră spartă la bază de 15 cm grosime și 15 cm pietriș neociuruit la partea superioară, bine compactate.

2.3.7. Pentru platforme rigide de stîncă nealterabilă, se prevede un strat de egalizare din nisip de 15 cm grosime.

2.3.8. Pietrișul neociuruit din stratul de repartiție poate fi înlocuit cu oriblură sau split.

Referitor la stratul de repartiție pentru oșile ferate industriale, STAS 4067-84 "Oșii ferate industriale, normale și înguste", cuprinde următoarele reglementări:

4.2.2.2. Stratul de repartiție trebuie să fie alcătuit din nisip cu granulație de 0,05...7 mm, corespunzătoare unui coeficient de neuniformitate mai mare decât 7 (STAS 1243-83), sau din zgură granulată de furnal, grosimea stratului fiind după compactare cel puțin 15 cm la linii normale și 10 cm la linii înguste.

Cînd terasamentul de sub stratul de repartiție este alcătuit din pământ sensibil la înmuiere, grosimea stratului de repartiție se mărește conform STAS 3197/2-78.

4.2.2.2.1. La rambleurile alcătuite din materiale granulare drenante, cu coeficient de neuniformitate mai mare ca 15, stratul de repartiție nu se mai prevede iar fața superioară a acestor rambleuri poate fi orizontală.

4.2.2.2.2. La rambleurile alcătuite din nisip drenant cu coefici-

ent de neuniformitate mai mare ca 7, stratul de repartitie se prevede din pietriș neciuruit (balast) cu granulația 0,05...70 mm, grosimea stratului fiind cel puțin 30 cm după compactare conform STAS 7582-81.

4.2.2.2.3. La rambleurile alcătuite din bolovănișuri, stratul de repartitie se prevede din pietriș neciuruit cu granulație de 0,05...70 mm, grosimea stratului fiind de 15 cm după compactare.

4.2.2.2.4. Pietrișul neciuruit din stratul de repartitie, poate fi înlocuit cu criblură sau split, conform STAS 2287-71.

4.2.2.2.5. Platformele în stîncă, se prevăd cu un strat de repartitie și egalizare din nisip cu granulație de 0,05...7 mm, avînd grosimea de 15 cm la linii normale și 10 cm la linii înguste.

Din cele prezentate anterior se observă că reglementările referitoare la substrat (absolutizat ca strat de repartitie a eforturilor) sînt reduse, limitîndu-se în special la grosimea acestuia, făcînd unele precizări asupra granulozității, probabil în ideea asigurării unui grad de îndesare cît mai mare.

Si din caracterul restrîns al acestor reglementări, necesitatea răspunsului la întrebări ca de exemplu: de ce unele substraturi s-au comportat bine în cale iar altele în condiții asemănătoare de trafic s-au degradat rapid și mai ales ce condiții trebuie să îndeplinească un substrat pentru a fi durabil, rezistent, stabil și fiabil la solicitările dinamice produse de trafic, a dus la concluzia că se impune cercetări asupra sa, aspect sesizat și abordat de autor în lucrarea de față.

1.3.2. Conceptii asupra substratului la alte administrații de cale ferată

Pe plan mondial, se observă tendința generală de introducere a substratului atît la liniile obișnuite [170] cît și la cele cu performanțe deosebite.

În cazul noii linii Roma-Florența, cu viteza maximă de circulație de 250 km/h, sub prisma căii s-a prevăzut un substrat din nisip de 20 cm grosime (fig. 1.13) [126]. Pentru asigurarea unei portanțe ridicate a terasamentului, pe fața superioară a lui s-a așternut un strat din mixtură de ciment și deșeuri din carierele de calcar. Anterior, sistemul a fost testat cu bune rezultate pe linia Roma-Neapole (viteza maximă 200 km/h) într-o zonă instabilă, precum și pe linia Veneția-Triest [97].

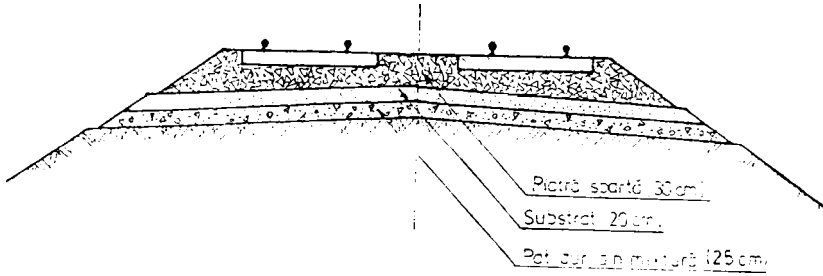


Fig. 1.13. Profil transversal prin linia Roma-Florența.

Rezultate foarte bune a dat în exploatare și soluția adoptată în cazul liniei Paris-Lyon, avînd viteza de circulație de 300 km/h [162]. Fără a se prevedea soluții constructive speciale în partea superioară a terasamentului, acordîndu-se doar atenție mărită calității pămînturilor utilizate în terasamente și cu un substrat de 20 cm grosime (fig. 1.14), s-a obținut la preț de cost redus o infrastructură de foarte bună calitate.

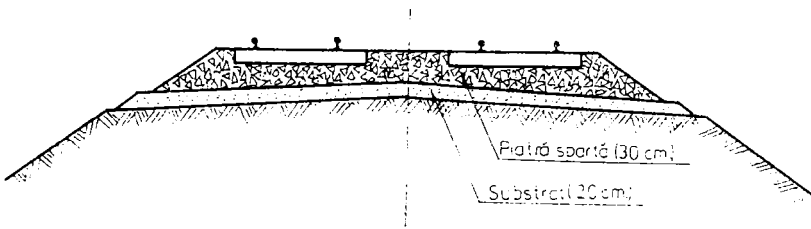


Fig. 1.14. Profil transversal prin linia Paris-Lyon.

În Japonia [16] liniile cu viteze de 250 km/h sînt prevăzute cu substrat cu grosimea de 20 cm (fig. 1.15).

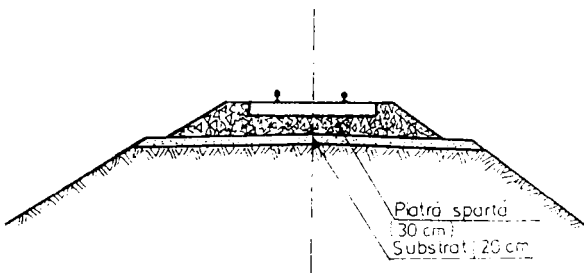


Fig. 1.15. Profil transversal prin căile ferate japoneze pentru viteze mari.

La centrul de experimentări pentru viteze mari din statul Colorado, SUA [169], s-a construit un tronson de linie cu lungimea de 10 km din care 4,8 km în aliniament și 5,2 km în curbă cu ra-

za de 4000 m, pentru viteze de 400 km/h. Terasamentul a fost construit din material local, cu excepția a 20 cm de la fața superioară care a fost alcătuit din materiale sortate, asemănătoare cu cele folosite la autostrăzi. Linia a fost prevăzută cu un substrat cu grosimea de 20 cm, puternic compactat și vibrat.

În ceea ce privește caracteristicile constructive ale substratului și materialele folosite, literatura este destul de redusă. Unele norme italiene [97] recomandă executarea substratului din două straturi. Cel inferior este alcătuit din nisip fin cu coeficientul de neuniformitate mai mare sau egal cu 4 iar cel superior din nisip grosier cu coeficientul de neuniformitate de minimum 8.

Se semnalează unele încercări în RFG [56], neîncununete de succes, de aplicare a regulei filtrelor inverse a lui Terzaghi în cazul substratului.

Se remarcă că un substrat corespunzător este capabil să asigure protecția în bune condiții a terasamentelor sub acțiunea traficului modern fără măsuri constructive deosebite la terasamente. Se demonstrează astfel marile disponibilități de care dispune substratul pentru a contribui la starea bună a căii.

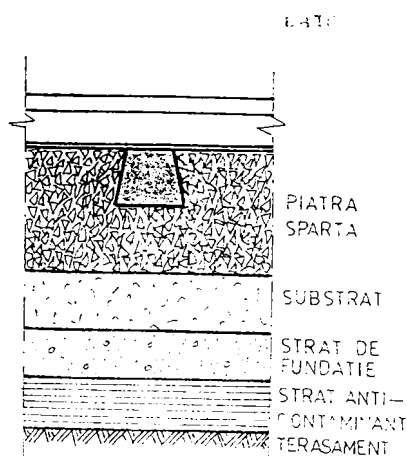
Singurul caz în care substratul nu poate contribui la asigurarea stabilității căii, îl constituie terasamentele cu portanță deosebit de redusă, situații în care terasamentele respective sînt abandonate în schimbul altora noi, rezistente, sau se adoptă soluții speciale, ca de exemplu calea pe dale din beton sau asfalt [32], [33], [117], [138].

Pentru folosirea terasamentelor mai puțin pregătite să suporte acțiunile traficului modern, Uniunea Internațională a Căilor Ferate recomandă o soluție constructivă asemănătoare cu cea utilizată la drumuri [171] (fig. 1.16). Se observă că soluția propusă este destul de complexă, presupunînd costuri de execuție ridicate, motiv pentru care nu s-a extins, cu atât mai mult cu cît un substrat corespunzător poate suplini această soluție.

1.3.3. Concluzii privind concepțiile asupra substratului căii

Analiza situației actuale a substratului căii la CFR, precum și la alte administrații de cale ferată pune în evidență următoarele aspecte:

1. - în cadrul procesului continuu de adaptare a căii la sarcinile de trafic, s-a impus înlocuirea belastului din prisma căii



cu un material cu caracteristici superioare, respectiv piatră spartă. Datorită deranjamentelor apărute la terasamente în urma acestei înlocuiri, a apărut necesitatea asigurării trecerii treptate de la macrostructura pietrei sparte la microstructura terasamentului, lucru realizat prin substrat;

2. - în absența unor criterii specifice pentru proiectarea, executarea și întreținerea substratului, în foarte multe cazuri introducerea lui nu a dat rezultatele așteptate, ceea ce denotă că substratul nu poate fi realizat la întâmplare, că de fapt el trebuie să preia

Fig. 1.16. Sistem constructiv complex pentru linii de mare viteză cu terasamente având portanță redusă.

mai multe funcții, nu numai pe cea de repartiție a eforturilor ce se transmit terasamentului de către suprastructură;

3. - pentru stabilirea normelor necesare proiectării, executării și întreținerii substratului, sînt necesare cercetări care pornind de la funcțiile ce-i revin, să determine condițiile pe care să le îndeplinească substratul corespunzător fiecărei funcții, iar în final, prin corelarea tuturor funcțiilor și a condițiilor ce se impun, să rezulte principiile pe baza cărora să fie posibilă realizarea unui substrat rezistent, durabil, economic, stabil și fiabil de-a lungul întregii perioade de serviciu în cale;

4. - pentru stabilirea funcțiilor ce revin substratului, este necesară o analiză critică a unor substraturi necorespunzătoare, defecțele apărute dezvăluind parțial contribuția pe care substratul trebuie să o aducă la protejarea terasamentelor, deoi o parte din funcțiile sale.

1.4. CONCLUZII FINALE CU PRIVIRE LA ALCATUIREA SI COMPORTAREA INFRASTRUCTURII DE CALE FERATA SUB INFLUENTA SOLICITARIILOR DINAMICE PRODUSE DE TRAFIC

Pe baza literaturii de specialitate referitoare la alcătuirea

și solicitarea căilor ferate, a comportării sub acțiuni dinamice a pământurilor din infrastructura căii, a analizei critice a metodelor de calcul și investigare sub aspect dinamic a acestora, precum și pe baza observațiilor, cercetărilor și experienței în execuție a autorului, au rezultat următoarele concluzii:

1. - calea ferată clasică este capabilă să satisfacă și în viitor cerințele de trafic impuse, dar pentru aceasta este necesară adaptarea permanentă a tuturor elementelor sale la vitezele și sarcinile pe osie în continuă creștere;

2. - în urma deplasării materialului rulant, pe lângă solicitările dinamice proprii, în cale se induc și importante solicitări dinamice și hidrodinamice cauzate de conlucrarea căii cu materialul rulant. Odată cu creșterea vitezelor de circulație și a sarcinilor pe osie, cresc și solicitările din infrastructură datorate acțiunilor dinamice ce apar din traficul mai intens. Având în vedere și faptul că sub acțiuni dinamice pământurile se comportă diferit comparativ cu cele statice, este imperios necesar ca și la proiectarea, executarea și întreținerea infrastructurilor să se ia în considerație caracterul dinamic al solicitărilor și fenomenele hidrodinamice, pentru ca acestea să fie capabile să preia în condiții de siguranță deplină a circulației sarcinile de trafic ce le revin;

3. - dacă în ceea ce privește terasamentul, el s-a constituit ca element component al căii ferate încă de la inventarea sa, substratul este un element nou, cerut de intensificarea sarcinilor de trafic. El a apărut odată cu semnalarea pungilor de balast la terasamente, fenomen legat de înlocuirea balastului de rfu cu piatră spartă în prisma căii. Prin introducerea lui s-a căutat trecerea gradată de la microstructura pământurilor din terasamente la macrostructura pietrei sparte (granule cu dimensiuni de 25...63 mm). În unanimitate, specialiștii consideră că în cazul în care este judicios proiectat și executat, substratul își poate aduce o contribuție importantă la portanța și stabilitatea generală a căii;

4. - deoarece substratul este un element introdus relativ recent în componența căii, nu i se cunosc prea bine toate funcțiile ce le îndeplinește, și din acest motiv nu este posibilă stabilirea unor criterii științifice pentru proiectarea, execuția și întreținerea sa; din această cauză, în multe cazuri substratul introdus în cale nu a dat rezultatele dorite;

5. - pornindu-se de la necesitatea stringentă a introducerii aspectelor dinamice și hidrodinamice la proiectarea, executarea și întreținerea infrastructurilor feroviare în condițiile actuale și

de perspectivă ale traficului, autorul și-a propus studierea următoarelor aspecte referitoare la elementul de infrastructură cel mai expus solicitărilor dinamice produse de trafic, respectiv substratul, studiile constând din:

- stabilirea și analiza critică a tipurilor de defecte ale infrastructurii cauzate de substratul necorespunzător sau absent, precum și de influența pe care aceste defecte o au asupra siguranței circulației, exploatării și întreținerii oăii, respectiv stabilirea principalelor funcții ce revin substratului;

- determinarea condițiilor ce se impun substratului corespunzător respectiv fiecărei funcții ce-i revine, astfel încât el să fie rezistent, stabil și fiabil de-a lungul întregii perioade de serviciu în cale;

- adaptarea tehnologiilor existente și conceperea unor tehnologii noi pentru introducerea substratului la executarea și întreținerea liniilor de cale ferată și propuneri de prevederi referitoare la controlul și recepția substratului;

- redactarea unor instrucțiuni (inițiale) pentru proiectarea, executarea și întreținerea substratului pe baza cărora, plecându-se de la condițiile existente pe fiecare tronson de cale (trafic, terasament, instalații de cale, etc.) să fie posibilă stabilirea elementelor constructive ale substratului (granulozitate, grosime și lățime) astfel încât el să-și îndeplinească în cele mai bune condiții funcțiile sale și să-și păstreze intacte calitățile atât timp cât se află în cale.

În vederea realizării celor propuse, autorul acționează de peste 20 de ani, făcând cercetări sistematice pe care le începe în anul 1973 fiind lucra ca cercetător științific la Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologice în Transporturi București, respectiv ca executant și controlor CTC de oăi ferate în cadrul CAGCCF București. Cercetările în domeniu au fost începute ca urmare a studierii literaturii în domeniu și a unor constatări personale asupra unor sectoare de cale ce prezentau instabilitate (aparent fără motiv), cauza dovedindu-se absența sau calitatea necorespunzătoare a substratului. Un alt motiv al abordării acestor cercetări l-a constituit necesitatea stabilirii unor elemente ce vor putea fi folosite la redactarea unor prescripții specifice referitoare la proiectarea, executarea și întreținerea acestui element relativ nou al infrastructurii, primul care ia contact cu solicitările dinamice transmise de suprastructură.

În studiile întreprinse, autorul a adoptat cercetarea la scară

naturală a fenomenelor ce se produc în cale sub circulația materialului rulant, considerînd că acest mod de abordare prezintă numeroase avantaje (eliminarea erorilor și limitelor impuse de modelarea în laborator, reducerea cheltuielilor de cercetare, eliminarea consumurilor energetice ridicate reclamate de funcționarea pulsatorelor ce simulează desfășurarea traficului feroviar, analiza unor fenomene deja finalizate - ca de exemplu migrarea particulelor fine din terasament în substrat - observarea comportării în timp a diferitelor elemente ale căii etc.) precum și datorită faptului că în unele cazuri (ca de exemplu cel al studierii corelației optime dintre granulozitatea substratului și cea a terasamentului) metoda de cercetare la scară naturală a fost unica posibilă.

2. ANALIZA CRITICĂ A UNOR SUBSTRATURI DE CALE FERATE CU COMPORTARE NECORESPUNZĂTOARE A INFRASTRUCTURII

Necesitatea unei analize critice a substratului căii ferate este impusă de faptul, că așa cum a rezultat din capitolul 1, deși el a fost acceptat ca element component al căii, este încă puțin cunoscut în ceea ce privește rolul și alcătuirea sa. În vederea stabilirii criteriilor științifice necesar a fi luate în considerare la proiectarea, executarea și întreținerea lui, sînt necesare cercetări care să elucideze în primul rînd funcțiile ce trebuie să le îndeplinească substratul. În această activitate, autorul consideră că un rol important îl poate avea analiza critică a unor substraturi existente în cale o perioadă mai lungă de timp sub efectul traficului și desprinderea unor concluzii furnizate de comportarea acestuia. În acest fel, prin analiza substratului pe diverse sectoare de cale pe care acesta s-a comportat necorespunzător, se vor trage concluzii, căutîndu-se soluții care să elimine factorii ce-au favorizat comportarea nesatisfăcătoare a substratului.

2.1. CONSIDERATII CU PRIVIRE LA ROLUL SI NECESITATEA STUDIERII SUBSTRATULUI CAII FERATE

Aflat imediat sub suprastructura căii (respectiv sub prisma
111 111 111)

căii), substratul este elementul infrastructurii cel mai expus solicitărilor dinamice produse de trafic. El trebuie să asigure trecerea gradată de la macrostructura pietrei sparte din prisma căii (constituită din roci de natură vulcanică cu granule poliedrice cu dimensiuni de 25...63 mm) la microstructura pământurilor din terasamente (în marea majoritate a cazurilor coezive, cu portanță redusă, gelive, care își înrăutățesc și mai mult în cale comportarea în prezența apei și a solicitărilor dinamice precum și a fenomenelor hidrodinamice produse de circulația materialului rulant. În prezența lui, pământurile, chiar și din cele considerate mai puțin indicate pentru a fi utilizate la construcția terasamentelor, se comportă corespunzător. Dimpotrivă, atunci când el lipsește, terasamentele sînt afectate ca urmare a incompatibilității dintre caracteristicile fizico-mecanice ce le sînt proprii și severitatea deosebită a solicitărilor la care sînt supuse ca urmare a derulării traficului feroviar.

Așa cum s-a arătat în capitolul 1, problema introducerii substratului la CFR s-a pus odată cu înlocuirea balastului din prisma căii cu piatră spartă ca urmare a creșterii solicitărilor produse de circulație asupra căii. Astfel, adoptarea acestei noi alcătuirii constructive a început fără existența unor norme pentru proiectarea și executarea acestui nou element constituent al infrastructurii căii. Comportarea sub circulație a substratului a demonstrat că în foarte puține cazuri el a lucrat corespunzător, însă prezența lui fără a se respecta anumite criterii, este insuficientă. Singura reglementare referitoare la substrat la data începerii de către autor a acestor studii, cea cuprinsă în STAS 3197/2-71 "Lucrări de cale ferată. Infrastructura căii. Profiluri transversale tip". Practica a demonstrat însă că indicațiile respective sînt insuficiente pentru a realiza un substrat capabil să preia în bune condiții solicitările dinamice produse de trafic. Cauza principală a acestei stări de lucruri este absolutizarea rolului de strat de repartiție pe care îl joacă substratul în ansamblul căii.

Deși infrastructura și mai ales suprastructura au făcut obiectul a numeroase cercetări întreprinse în țară și la alte administrații de cale ferată, neglijîndu-se aportul substratului la asigurarea stabilității căii și implicit la siguranța circulației, nu au fost stabilite norme de proiectare proprii pentru acesta, în proiectele de execuție precizîndu-se grosimea și lățimea din STAS, fără adaptări la situația locală. Același lucru se poate afirma și despre granulozitate. Unele încercări de a o stabili pe baza normelor utilizate în alte domenii (de exemplu regula filtrelor inverse a lui Terzaghi) nu au dat satisfacție datorită faptului că nu exis-

tă similitudini de fenomene și deci nici legi de evoluție în timp. De aceea se poate afirma că unităților de construcții și întreținere nu li se dau de proiectanți suficiente elemente referitoare la caracteristicile și tehnologia de punere în operă a materialelor din substrat. Rezultatele unei asemenea concepții nu s-au lăsat așteptate, majoritatea defectelor de terasamente avînd ca punct de plecare un substrat necorespunzător sau absent.

Pentru elucidarea aspectelor menționate mai sus, se consideră de mare importanță efectuarea unor încercări experimentale, menite să simuleze cît mai real fenomenele ce au loc în cale, sub influența traficului și a factorilor atmosferici.

Cum realizarea unor asemenea cercetări este anevoioasă, iar în condiții identice cu realitatea din exploatare practic imposibilă, autorul a ajuns la concluzia de a face un studiu direct pe sectoare existente, alegînd în acest sens atît sectoare cu o comportare nesatisfăcătoare, cît și cu o comportare bună, alegerea avînd la bază condiții de trafic diferite, diverse tipuri de terasament, respectiv o durată de serviciu cît mai mare.

În acest capitol se prezintă sumar analiza mai multor sectoare de cale cu durată de exploatare și solicitări diferite, cu defecte de infrastructură, analiza făcută fiind minuțioasă și la obiect.

2.2. TRONSOANE DE CALE FERATA LUATE ÎN STUDIU SI INVESTIGATII FACUTE

În vederea cuprinderii cît mai larg a aspectelor legate de substrat, autorul a studiat la nivelul unei regionale de cale ferată care să fie reprezentativă sub acest aspect, în sensul ca pe raze ei de activitate să se afle toate categoriile de defecțiuni ce pot apărea datorită substratului căii.

Din considerentele menționate, s-a ales pentru analiza critică a substratului, Regionala de Căi Ferate Galați, regională ale cărei linii traversează toate formele de relief, de la câmpie la munte. Terasamentele sînt constituite din pămînturi cu diverse caracteristici mineralogice, începînd cu loessul și terminînd cu stîncă. De asemenea, factorii hidrometeorologici, condițiile de trafic precum și defectele de substrat specifice întregii rețele CFR se regăsesc în sfera de activitate a acestei regionale. În aceste condiții, concluziile analizei substratului la acest nivel pot fi extinse în toată țara.

Autorul a început investigațiile în anul 1973 prin analiza materialelor existente în arhivele diviziei de linii a regionalei și a secțiilor de întreținere linii, a sectoarelor cu probleme de terasament, reținându-se în continuare doar cele pe care substratul era într-un fel sau altul implicat. Tronsoanele luate în studiu se află pe liniile Ploiești-Buzău-Adjud-Bacău, Brăila-Galați, Mărășești-Tecuci, Urziceni-Făurei, Tândărei-Făurei, Barboși-Tecuci, Făurei-Tecuci, Adjud-Cioeu și Urziceni-Slobozia Veche.

În analiză au fost ouprinse foarte multe zone cu defecte de substrat care au fost apoi grupate pe categorii și intabulate (tabelul 2.1 asupra căruia se va reveni în capitolul de față).

În scopul asigurării tuturor elementelor utile studiului, s-au cules informații de pe teren, din arhivele secțiilor de întreținere și s-au efectuat analize de laborator asupra probelor prelevate din infrastructura oăii.

2.2.1. Culegerea informațiilor prin studii de teren

Deoarece elementele aflate în arhiva diviziei de linii a regionalei referitoare la sectoarele de cale cu probleme de portanță și stabilitate a oăii erau insuficiente pentru analiză, au fost necesare studii pe teren pentru culegerea datelor ce s-au impus a fi luate în considerare. În vederea rezolvării acestui aspect, etapele principale ale studiilor pe teren au fost următoarele:

- parcurgerea fiecărui tronson de cale, cu ocazia căreia s-au stabilit punctele caracteristice de pe fiecare zonă, puncte în care defectele de substrat au fost cele mai pregnante;

- culegerea datelor de teren referitoare la condițiile de trafic (viteza maximă de circulație și eventualele restricții de viteză cauzate de defectele de substrat, circulația unor garnituri cu materiale ce-ar putea produce contaminarea cu particule fine a prisme oăii și substratului, din categoria lor făcând parte agregatele minerale, cărbunii și minereurile);

- culegerea datelor de teren referitoare la caracteristicile infrastructurii și suprastructurii pe tronsoanele respective (tipul profilului transversal, tipul traversei, perioada de serviciu a substratului și modul în care a fost introdus în cale - odată cu executarea oăii sau ulterior - grosimea prisme oăii și a substratului, situația pantelor de scurgere a apei de pe fața superioară a terasamentului, probleme de întreținere a oăii și a celorlalte componente

ale suprastructurii și infrastructurii, cum ar fi joantele, taluzurile, șanțurile de scurgere;

- culegerea datelor de teren referitoare la condițiile meteorologice și hidrologice (adâncimea pânzei freatice, posibilitatea apariției inundațiilor, eventuale bălțiri și stagnări ale apei în zona căii, adâncimea de îngheț);

- efectuarea de sondaje deschise sub formă de șanțuri între traverse pentru stabilirea caracteristicilor infrastructurii și suprastructurii de pe tronsonul respectiv. Din aceste sondaje au fost prelevate probe din terasament și substrat care au fost analizate în laborator. În figura 2.1 se prezintă dispoziția în plan și o secțiune transversală printr-un asemenea sondaj.

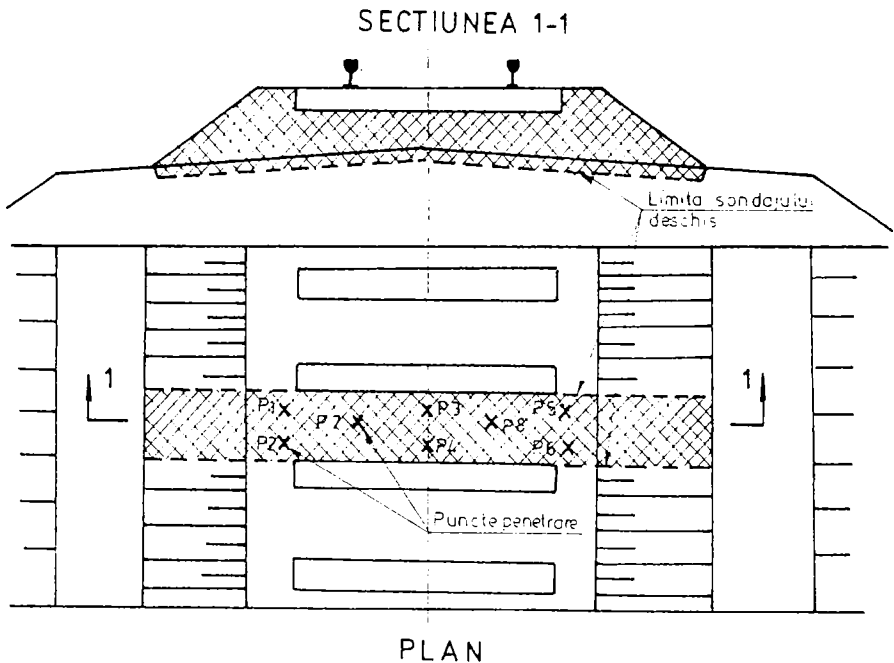


Fig. 2.1. Schematizarea unui sondaj deschis între traverse.

Aceste sondaje s-au executat pe toată lățimea spațiului existent între traverse, până în corpul terasamentului și pe toată lățimea în profil transversal a căii, astfel încât să poată fi relevate pantele de scurgere de pe fața superioară a terasamentului în totalitatea lor. Pentru situațiile mai deosebite (ca de exemplu punți de balast) sondajele au fost adâncite până la baza defectelor întâlnite. S-au efectuat de asemenea pe unele sectoare penetrări statice, asupra acestora revenindu-se ulterior în detaliu.

Caracteristicile defectelor de terasament care au ca punct de

plecare absența sau calitatea slabă a substratului au fost centralizate în tabelul 2.1, în esență fiind următoarele:

- stagnări ale apelor pluviale au apărut datorită faptului că prisma căii sau substratul au fost puternic colmatate de materialele fine care au migrat din terasamente sau au ajuns în ele pe alte căi (căzute din vagoane ce transportau asemenea materiale, provenite din fărmățarea pietrei sparte cu rezistență redusă la buraj, de la diverse săpături în terasamente neîngrijit executate etc.). În aceste condiții, apa care pătrunde în elementele colmatate nu mai poate fi evacuată rapid și staționează mult timp în prismă, substrat și pe fața superioară a terasamentelor. Infiltrarea și retenția îndelungată a apei sînt avantajate de procesele hidrodinamice ce au loc sub circulație. În prezența apei, terasamentele care sînt constituite în majoritatea covârșitoare a cazurilor din pămînturi coezive, de natură argiloasă, își reduc portanța, se deformează, pantele de scurgere devin discontinue, apărînd contrapante, avantajîndu-se și mai mult staționarea apei. În etapele următoare, aceste defecțiune evoluează în albi, apoi apar pungi de balast, care sînt extrem de dificil de remediat, necesitînd uneori chiar abandonarea sectorului respectiv și mutarea liniei pe un nou amplasament;

- stagnări în cale a apelor provenite din inundații, sînt defecțiune care au aceleași cauze și evoluții, cu mențiunea că în perioadele de inundații fenomenele sînt mult accelerate. În general pe sectoarele respective pînza freatică este prezentă la o cote destul de ridicată, ceea ce contribuie și mai mult la reducerea portanței terasamentelor respective;

- substraturile colmatate s-au întîlnit în special pe sectoarele de cale pe care inițial prisma căii a fost executată din balast de rîu și pe care odată cu trecerea la folosirea pietrei sparte în prisma căii, panourile de cale au fost ridicate, balastul respectiv a fost întins pe toată suprafața patului căii devenind substrat, panourile înglobîndu-se apoi în piatră spartă;

- prisma căii colmatată este o altă defecțiune a căii întîlnită care are ca punct de plecare tot un substrat necorespunzător sau absent (prin analiza structurii traficului au fost eliminate din studiu sectoarele de cale la care colmatarea este produsă de materialele ce se transportă și pot curge din vagoane). Cauza este migrarea particulelor fine din terasament care în lipsa unui filtru adecvat pot face acest drum destul de ușor. Chiar dacă nu apar și joante noroioase, consecințele sînt aceleași și anume: pierderea stabilității căii atât în plan orizontal cît și vertical;

R. C. F. GALATI - SECTOARE DE CALE CU DEFECTIUNI CAUZATE DE SUBSTRATUL
NECORESPUNZATOR

Nr. crt.	LINIA		Stagnarea in cale a apelor pluviale	Zone inundabile nedrenate	Substrat colmatat	Prisma cǎii colmatatǎ	Traverse noroioase	Deripǎri ale cǎii	Albii și pungi de balast	Tasări și umflǎri laterale ale terasamentelor	Burdusiri și denivelǎri	1000	500	250	100	50	25	10	5	2,5	1,25	0,625	0,3125	0,15625		
	Forma de manifestare a defectului	KM																								
1																										
		79,81	226,230	238,239	139,184	80,86, 94,100	234,239, 244,245, 256	226	295, 244	2,14	78,88, 95,107, 109															
			226,230	238,239	139,184	80,86, 94,100	234,239, 244,245, 256	226	295, 244	2,14	78,88, 95,107, 109															
2																										
		79,98, 101,104, 106,108	732	230,238	139,184, 228,230, 237	80,86, 94,100	234,239, 244,245, 256	226 226	235, 244		78,88, 95,107, 109															
3																										
4																										
			226,228, 230,234, 240	226,228, 230,238, 239	226,228, 230,238, 239	79,92, 94,102, 104,108	226,228, 244,245, 256	226, 227	276, 279	2,4 8,9, 13,16	78,88, 95,107, 109															
5																										
			180, 182					226, 228																		

- traversele noroioase au apărut în special pe sectoarele fără substrat, la care nu există o trecere progresivă de la particulele fine ale pământurilor din terasament la granulele mari ale pietrei sparte din prisma căii. Datorită acestui fapt, în urma fenomenelor hidrodinamice ce apar în timpul deplasării materialului rulant, particulele fine din terasament sînt antrenate și ajung în prisma căii, reducînd sau chiar anulînd proprietățile elastice ale acestora. Cercetările au arătat că lucrînd în asemenea regim, linia se deripează și se denivelează ușor sub circulație [150], necesitînd un mare volum de lucrări de întreținere pentru menținerea căii în toleranțe. Asemenea sectoare cu traverse noroioase au fost identificate în zonele în care nu exista substrat dar și pe altele pe care acesta exista dar nu a întrunit calitățile necesare.

- deripări ale liniei sînt deranjamente care la prima vedere s-ar părea că nu-și au originea în defecte de infrastructură. Pe zonele analizate au fost observate însă și sectoare de cale pe care linia era permanent deripată în urma derulării traficului, datorită faptului că frecarea internă a granulelor din piatră spartă era redusă ca urmare a migrării particulelor din terasament în prisma căii și a prezenței permanente a apei. Această apă provenită prin ascensiune capilară și antrenarea hidrodinamică din cea care stagnează pe fața superioară a terasamentului, acționează ca lubrifiant între particulele pietrei sparte din prisma căii.

- pungile de balast sînt faza finală în care ajung micile deranjamente ale feței superioare a terasamentului cauzate de unele stagnări ale apei la nivelul ei și reducerea portanței platformei ca urmare a înmuierii. În lipsa substratului cu o granulozitate mai fină decît cea a pietrei sparte, granulele din prisma căii produc concentratori de eforturi pe fața superioară a terasamentului și care în condițiile înmuierii conduc la cedarea pământului și la penetrarea pietrei sparte în terasament. Aceste zone constituie breșe prin care apa se acumulează și pătrunde treptat și mai ușor în corpul terasamentului, slăbindu-l în timp și permițînd pătrunderea altor cantități de piatră spartă în terasament. Odată declanșat, acest proces nu mai poate fi controlat și singura soluție de remediere o constituie eliminarea totală a acestor punji de balast din corpul terasamentului [82], [127], [158].

- tasările și umflările laterale ale terasamentelor au apărut ca urmare a reducerii portanței lor prin afectarea calităților fizico-mecanice ale pământurilor de către apa aflată permanent în cale.

Pe sectoarele respective, substratul absent sau constituit din balast de riu colmatat, combinat cu o prismă a căii de asemenea colmatată cu material fin, nu au permis drenarea rapidă a apei care a stagnat timp îndelungat în cale, reducând rezistențele mecanice ale pământurilor din terasamente. Acestea devenind plastice, au intrat într-un proces de curgere lentă, concretizat prin tasarea platformei și refularea laterală a pământului,

- burdușirile și denivelările longitudinale au apărut în special pe sectoarele de cale pe care, așa cum a rezultat în urma analizelor de laborator a probelor prelevate din terasament, pământurile fac parte din categoria celor foarte sensibile la îngheț (apreciate pe baza criteriilor stabilite de Cassagrande) iar grosimea materialelor drenante aflate pe terasament a fost insuficientă pentru a asigura protecția termică a terasamentelor respective. Pe aceste zone în special primăvara și toamna, calea prezintă multă nesiguranță în exploatare datorită deformațiilor ce se produc în terasamente în perioadele de îngheț-dezghet.

Toate aceste defecte care au fost identificate pe raza regiunii de Căi Ferate Galați, au ridicat multe probleme organelor de întreținere și cu toate măsurile ce s-au luat, calea prezintă instabilitate accentuată.

Referitor la caracterul și tehnica cercetărilor de teren efectuate, se mai fac următoarele precizări:

- pe toate tronsoanele studiate, traficul scurs până în momentul analizei (anul 1973) a fost de minimum 3 milioane tone brut;
- ca urmare a diferențelor de trafic scurs și a perioadelor variabile de la ultima reparație a căii și momentul studiului, efectele au putut fi surprinse în diferite stadii de evoluție, începând cu stagnările de apă în cale și terminând cu pungile de balast;
- după parcurgerea fiecărui tronson de cale și înregistrarea lui în tipul de defect respectiv, pe tronsoanele respective s-au aprofundat studiile de teren, parcurgându-se și celelalte etape ale metodologiei adoptate, respectiv culegerea datelor referitoare la condițiile de trafic, a caracteristicilor infrastructurii și suprastructurii, a condițiilor meteorologice și hidrologice, efectuarea sondajelor, prelevarea de probe. Corelate cu datele de arhivă și rezultatele analizelor de laborator, aceste studii de teren detaliate au stat la baza analizei tipurilor de defecte cauzate de substrat, respectiv la stabilirea unor criterii științifice pentru dimensionarea și executarea substratului căii ferate, pornindu-se de la funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească acesta.

2.2.2. Informații obținute prin studierea unor materiale de arhivă

În vederea stabilirii influenței trosoanelor cu defecte de substrat asupra condițiilor de desfășurare a traficului, a cheltuielilor de întreținere a căii, a modului în care aceste cheltuieli sînt reflectate de starea generală a căii în baza punctajului determinat de vagonul de măsurat calea, s-au analizat pentru anumite sectoare toți acești parametri. Datorită faptului că toate defectele cauzate de substrat au drept consecință denivelarea și deriparea căii (amplitudinea deranjamentelor fiind funcție de stadiul de dezvoltare al defectului), acest studiu a fost posibil folosind înregistrările efectuate prin folosirea vagonului de măsurat calea, banda din dotarea acestuia înregistrînd abaterile în plan orizontal și vertical ale căii, care apar între două măsurători. Alți parametri ai căii (ca de exemplu ecartamentul) care nu sînt influențați de starea substratului, suferă foarte mici modificări în timp și de aceea rezultatele măsurătorilor cu vagonul reflectă suficient de exact evoluția poziției în spațiu a căii.

Pentru obținerea datelor necesare, studiul a fost efectuat în următoarele etape:

- selectarea din trosoanele cu probleme de substrat a celor mai sugestive sub aspectul deranjamentelor căii și a consumului de manoperă pentru burajul și ripatul căii;
- analiza evoluției punctajului înregistrat de vagonul de măsurat calea pe perioade de timp (ani) premergătoare efectuării studiului (tabelul 2.2);
- determinarea corelației consum de manoperă-punctaj vagon (tabelele 2.3 și 2.4);
- studiul evoluției punctajului funcție de anotimp pe sectoarele de cale pe care au fost utilizate pămînturi foarte sensibile la îngheț (stabilite prin analize de laborator în baza criteriului lui Cassagrande) (tabelul 2.5);
- interpretarea rezultatelor întabulate și a altor cazuri deosebite întîlnite pe reze regionale.

În soacstă analiză s-au avut în vedere toate sectoarele cu probleme de substrat care au fost identificate pe linii de diverse condiții de trafic (viteze de circulație, tone brute transportate), acest lucru reflectîndu-se în numărul de treceri ale vagonului de măsurat calea. Funcție de importanța liniei, pe sectoarele respec-

tive controlul căii s-a făcut la intervale relativ egale, 1...5 luni. In toate cazurile, comparația s-a făcut cu o cale ideală cu punctaj zero.

TABELUL 2.3

ELEMENTE CU PRIVIRE LA EFICIENȚA UTILIZĂRII FORȚEI DE MUNCĂ LA ÎNTREȚINEREA CĂII PE SECTOARELE DE CALE CU DEFECTE DE SUBSTRAT

LINIA KM	NORMAT [om zi]	CONSUM MANOPERA REALIZAT				PUNTAJ MEDIU	
		1971		1972		1971	1972
		[om zi]	[%]	[om zi]	[%]		
Făurei-Tecuci 64-65	174	338	223	315	181	596	348
Adjud-Ciceu 27-28		217	125	206	118	505	370
Adjud-Ciceu 104-105		266	153	282	162	110	90
Urziceni-Făurei 111-112		311	178	403	232	356	331
Mărășești-Adjud 227-228		337	194	458	262	538	1380

TABELUL 2.4

ELEMENTE CU PRIVIRE LA EFICIENȚA ÎNTREȚINERII ÎNȚINSE A CĂII PE SECTOARELE DE CALE CU DEFECTE DE SUBSTRAT

LINIA KM	LUNA	CONSUM MANOPERA LA TRECEREA VAGONULUI		PUNTAJ REALIZAT	
		CANTITATE	% DIN CONSUMUL ANUAL	LA TRECEREA ANTERIOARA A VAGONULUI	ULTERIOR ÎNTREȚINERII ÎNȚINSE
II Buzău-Adjud 185-186	MAY 1971	44	25	1360	500
Făurei-Tecuci 64-65	JULIE 1972	55	32	260	220
II Buzău-Adjud 108-109	OCTOMB 1972	109	63	400	0
II Buzău-Adjud 181-182	OCTOMB 1972	100	57	840	440

Evoluția punctajului măsurat arată că toate zonele cu defecte poartă amprente acestora și ele se transmit și la suprastructură, ceea ce duce la multe denivelări și deripări. După cum rezultă din tabelul 2.2, punctajul departe de a se menține în jurul valorii zero, înregistrează valori de ordinul miilor de unități, depășind de multe ori 2.000 puncte, înregistrându-se chiar și peste

TABELUL 2.5
EVOLUTIA PUNCTAJULUI IN PERIOADA DE INGHEȚ-DEZGHEȚ PE LINIILE
CU TERASAMENTELE EXECUTATE DIN PĂMÎNTURI FOARTE SENSIBILE LA
INGHEȚ

LINIA KM	ADÂNCIMEA DE INGHEȚ (cm)	GROSIMEA TOTALĂ A MA- TERIALELOR DRENANTE PE TERASAM (cm)	PUNCTAJUL VAGON 1971		
			VARĂ - PRIMĂVARĂ	PRIMĂVARĂ	TOAMNĂ - VARĂ
Adjud - Ciceu 26-27	90	49	525	105	285
I Buzău-Mărășești 185-186	85	52	1185	180	450
II Buzău-Mărășești 185-186	85	47	1920	140	640

5.000 puncte, ca de exemplu pe linia Făurei-Tecuci pe care s-au înregistrat la trecerea din 17.03.71 5.240 puncte pe km. 21+000-22+000. Fără excepție, pe toate tronsoanele cercetate, punctajele au fost în mod constant mari, semnăându-se pe unele ușoare ameliorări în perioadele de vară ca urmare a reducerii volumului și perioadei de stagnare a apei în cale datorită atât ploilor, oare în perioada respectivă au debite și frecvențe mai mici, cât și temperaturii exterioare care favorizează evaporarea mai rapidă a apei. În aceste condiții, calea este mai stabilă prin sporirea temporară a portanței platformei și creșterea frecării interne dintre particulele pietrei sparte din prisma căii. Odată cu revenirea ploilor, are loc o nouă creștere a punctajelor măsurate. În perioada de îngheț se observă o nouă reducere, de această dată mai mică, a punctajului ca urmare a stabilizării temporare a căii.

Analizând eficiența utilizării forței de muncă pentru burajul și riparea liniei (tabelul 2.3) rezultă că deși se consumă un volum important de manoperă pentru întreținere (depășindu-se în multe cazuri dublul consumului normat de 174 om-zi), calea se menține în continuare instabilă.

Întreținerea intensivă a căii care se face de obicei cu puțin timp înainte zilei în care trece vagonul de măsurat calea, nu duce nici ea la rezultate mai bune pentru cale, ci doar la un mare consum de forță de muncă (tabelul 2.4). Se observă că deși s-a folosit un foarte mare volum de forță de muncă pentru punerea la punct a căii, s-a realizat doar o îmbunătățire redusă a stării acesteia, iar dacă nu s-a continuat cu același ritm întreținerea, punctajul a revenit la valoarea inițială sau apropiat de aceasta (de exemplu pe li-

EVOLUTIA PUNCTAJULUI VAGONULUI DE MASURAT CALEA PE UNELE SECTOARE CU DEFECTE DE SUBSTRAT.

LINIA KILOMETRUL	1971														1972						
	TRECERI														TRECERI						
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII						
FAUREI-TECUCI 21-24	5250	1230	800	740	555	485	770		255	345	150	195	1310	590							
FAUREI-TECUCI 49-50	630	570	450	495	380	430	4870		1070	390	165	195	330	150							
FAUREI-TECUCI 54-65	1230	900	490	420	590	280		230	430	260	270	810	150								
I MĂRĂȘEȘTI-TECUCI 226-227	1500	1860	2325	795	405	630	120	270	195	510	225	220	1000	860	240						
II MĂRĂȘEȘTI-TECUCI 227-228	340	900	525	360	315	255	1320	285	360	375	260	220	1000	180							
I MĂRĂȘEȘTI-ADJUD 227-228	525	885	795	570	255	375		375	525	675	630	600	1000	1000							
I MĂRĂȘEȘTI-ADJUD 239-240	585	810	855	270	240	420		480	255	450	270	190	1000	1000							
II MĂRĂȘEȘTI-ADJUD 226-227	630	960	1005	645	315	495	180	840	1140	1590	375	630	1000	1000							
II MĂRĂȘEȘTI-ADJUD 227-228	400	375	870	530	945	405	105	825	450	2640	780	2130	1980	1980	870						
II MĂRĂȘEȘTI-ADJUD 238-239	800	615	825	705	285	345	255	270	150	690	390	1320	1000	1000	1000						
II MĂRĂȘEȘTI-ADJUD 239-240	900	570	1320	1005	480	255	300	225	225	450	840	1000	1000	1000	230						

NOTA : Trecerea vagonului s-a facut la intervale
relativ egale de-a lungul anului.

nia Urziceni-Făurei, km. 110+000-111+000 pe care pentru a se reduce punctajul de la 270 la 60 între două treceri consecutive ale vagonului de măsurat celea s-au folosit în mai puțin de trei luni 50 om-zi la buraj și 30 om-zi la ripat, punctajul crescând apoi la 165).

O evoluție interesantă prezintă punctajul pe liniile pe care terasamentele sînt constituite din pămînturi foarte sensibile la îngheț și la care grosimea materialelor drenante aflate pe fața superioară a lor a fost insuficientă pentru protecția termică a acestor pămînturi. Se observă că în perioadele de toamnă-iarnă și iarnă-primăvară, perioade în care predomină fenomenele de îngheț-dezgeț, punctajul înregistrează o amplificare sensibilă față de vară de exemplu, cînd linia este mult mai stabilizată. Cauza principală a acestei variații o constituie influențarea poziției căii de către burdușelile produse de îngheț-dezgeț pe fața superioară a terasamentelor. Denivelările produse de îngheț-dezgeț pe fața superioară a terasamentului sînt urmărirea de cale, care la rîndul ei suferă deformări în plan vertical.

2.2.3. Studii de laborator pe probe prelevate din amplasament

Pe școțoarele de cale cu defecte mai complexe s-au prelevat probe în vederea efectuării analizelor de laborator. Probele respective au fost prelevate în următoarele condiții:

- s-au prelevat din sondaje deschise practicate în golurile dintre traverse (fig. 2.1);
- pentru evitarea apariției unor cazuri particulare, nereprezentative pentru cadrul general, s-au prelevat probe din trei puncte din cale, dispuse la o distanță de 50 m unul de altul în lungul căii;
- probele au fost prelevate din zona de mijloc a fiecărui element al infrastructurii pentru a se evita cazurile de contaminare reciprocă a acestora (probele din substrat au fost prelevate din mijlocul stratului respectiv iar cele din terasament de la minimum 10 cm de la fața superioară a sa);
- toate probele au fost tulburate;
- transportul și păstrarea eșantioanelor pînă la determinările de laborator s-au făcut în pungi etanșe din material plastic;
- între momentul prelevării probei și efectuarea analizelor de laborator nu au trecut mai mult de 24 ore.

Pentru pămînturile din terasamente s-au făcut următoarele determinări: granulozitatea, limitele lui Atterberg și umiditatea.

Pentru materialele componente ale substratului s-a determinat

granulozitatea.

Determinarea acestor caracteristici s-a făcut prin următoarele metode de laborator [71], [74], [102], [145]:

- granulozitatea: cernere pe ciururi, cernere pe site, sedimentare cu areometrul, sedimentare cu pipeta;
- limitele lui Atteberg: aparatul Cassagrande, cilindri de pământ;
- umiditate: cântărirea probelor înainte și după uscarea în etuvă la temperatura de 105 °C.

S-au respectat indicațiile prevăzute în STAS 1913 "Teren de fundare" referitoare la fiecare tip de încercare în parte.

În urma analizelor de laborator a celor trei probe preluate la o distanță de 50 m unele de altele de pe fiecare zonă studiată, au rezultat diferențe foarte mici, diferențe ce țin mai ales de precizia determinărilor, în continuare reținându-se valorile medii ale fiecărui grup de probe.

Rezultatele acestor studii de laborator au fost folosite pentru caracterizarea mai completă a unor cazuri mai deosebite prezentate în paragraful următor.

2.3. CONSTATĂRI CU PRIVIRE LA TIPURILE DE DEFECTE ALE SUBSTRATURILOR ANALIZATE

Prin corelarea tuturor studiilor prezentate anterior, autorul a putut stabili tipurile caracteristice de defecte de substrat și modul lor de evoluție în timp.

Astfel au fost inventariate următoarele categorii de defecte care au ca punct de plecare un substrat necorespunzător sau absent:

- substrat colmatat;
- prisma căii colmatată;
- traverse norcioase;
- albie și punți de balast;
- terasamente foarte sensibile la îngheț, insuficient protejate termic.

2.3.1. Constatări făcute pe substraturi colmatate

Acest tip de defect des întâlnit pe secțiunile de cale pe care neexistând o corelare justă între granulozitatea substratului și cea

a pământului din terasament, a apărut în urma fenomenelor hidrodinamice din cale ca urmare a migrării particulelor fine din terasament în substrat (alocăuit în asemenea cazuri din balast de râu), ceea ce a dus la micșorarea capacității drenante a substratului și mărirea înălțimii capilare. Din aceste motive, pe zonele respective substratul în loc să faciliteze drenarea rapidă a apelor ce cad în cale, dimpotrivă, prelungesc perioade de stagnare a acestor ape, afectând calitățile materialelor din terasamente și din prisma căii. Pe sectoarele de cale cu substrat colmatat, apele pluviale și din inundații persistă mult în cale după dispariția cauzelor ce le-au provocat, ceea ce este instabilă. Ca urmare a menținerii unei umidități ridicatăe perioade lungi de timp, portanța terasamentelor este micșorată, apar deformații și discontinuități ale pantelor de scurgere a apelor de pe fața superioară a terasamentelor, defectul acesta evoluind de asemenea în albi și apoi pungi de balast.

De obicei acest defect este însoțit și de colmatarea prismei căii, de joante noroioase, toate acestea fiind provocate de calitatea slabă a substratului.

De exemplu, pe linia Urziceni-Slobozia Veche, din cauză că materialul utilizat în substrat a fost balast de râu cu fracțiuni cu dimensiuni mari, acesta s-a colmatat în timp, reținând perioade îndelungate apă în interiorul său, drenarea făcându-se lent (fig. 2.2). Din acest motiv, fața superioară a terasamentului s-a albit, favorizând și mai mult acumularea apei. La limita de separație substrat-terasament s-a găsit apă liberă. Reluându-se analiza curbelor granulometri-

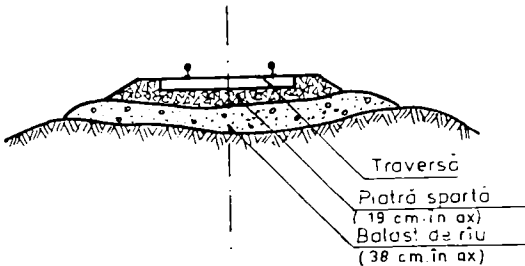
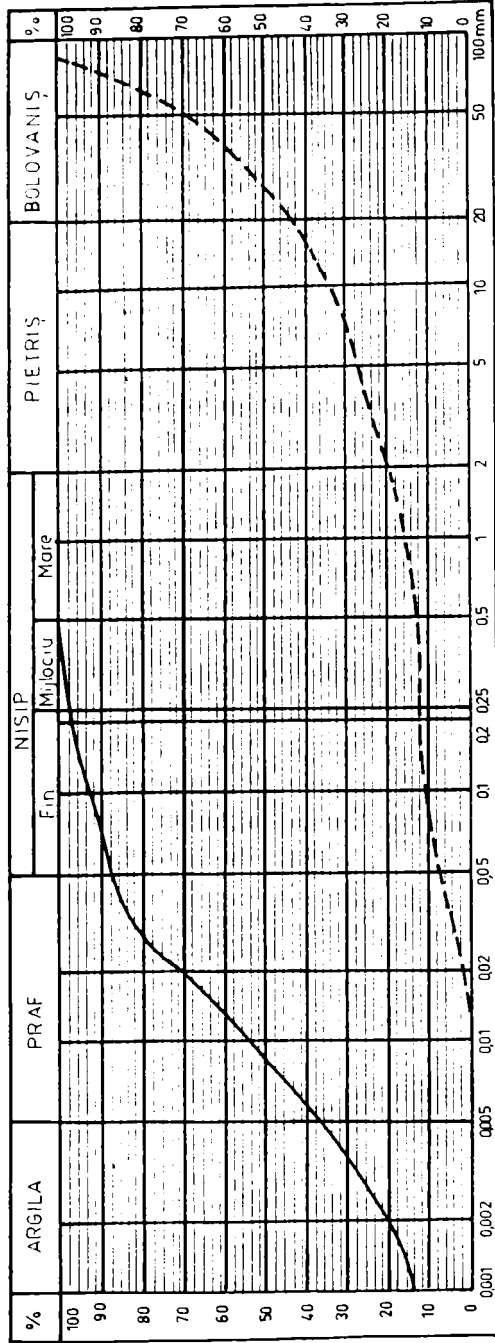


Fig. 2.2. Profil transversal prin linia Urziceni-Slobozia Veche, km. 115+985 (substrat colmatat). Corespunzător ca (paragraful 3.2) a rezultat că în cazul de față materialul din substrat era contraindicat pentru terasamentul respectiv.

O situație asemănătoare s-a întâlnit și pe unele tronsoane ale li-

ce ale pământului din terasament și cea a balastului din substrat (fig. 2.3) după stabilirea corelației optime dintre acestea, astfel încât substratul să lucreze ca filtru invers

Fig. 2.3. COMPOZITIA GRANULOMETRICA



Terasamente

Modul de lucru: Metoda combinată
Data: 17.05.73

- $\emptyset < 0,005 \text{ mm} \dots 37 \%$ argilă
- $0,005 < \emptyset < 0,05 \text{ mm} \dots 51 \%$ praful
- $0,05 < \emptyset < 0,25 \text{ mm} \dots 10 \%$ nisip fin
- $0,25 < \emptyset < 0,50 \text{ mm} \dots 2 \%$ nisip mijlociu
- $0,50 < \emptyset < 2,00 \text{ mm} \dots \%$ nisip mare
- $2,00 < \emptyset < 20,00 \text{ mm} \dots \%$ pietriș
- $\emptyset < 20,00 \text{ mm} \dots \%$ bolovaniiș

LEGENDA

— Terasament
- - - Substrat

$$U_s = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{3,8}{0,095} = 4,00$$

niei Făurei-Tândărei (fig. 2.4). Din cauza utilizării balastului în substrat, fără corelarea corespunzătoare a granulozității sale cu cea a pământului din terasament, particulele fine din terasament au migrat ca urmare a antrenării hidrodinamice produse de trafic, substratul s-a colmatat rapid, favorizând stagnarea apei în cale,

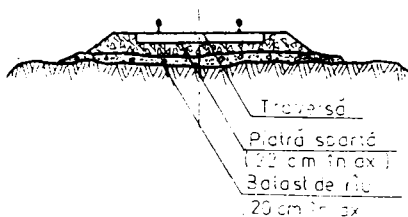


Fig. 2.4. Profil transversal prin linia Făurei Tândărei, km. 14+865 (substrat colmatat).

apărînd în timp undulări și apoi albieri ale feței superioare a terasamentului.

Aceste defecte cauzate de colmatarea substratului pot fi eliminate relativ ușor cu ocazia

unor lucrări de întreținere (refacții, reparații radicale), asigurîndu-se stabilitatea căii. Cu toate că pe liniile respective acest tip de defect a produs și produce numeroase probleme de întreținere și exploatare, lucrările respective au fost executate neglijent. Astfel, refacția liniei Urziceni-Slobozia Veche s-a făcut în perioada 1970-1972 fără a se elimina substratul necorespunzător, fără a se aplatiza fața superioară a terasamentului și fără a se introduce alt substrat de calitate. În aceste condiții, după circa doi ani de exploatare în condiții mai bune comparativ cu perioada ce-l precedea refacția, s-au înmulțit din nou punctele în care calea prezintă instabilitate și necesită un mare volum de manoperă la întreținere pentru menținerea ei în parametri instrucționali.

2.3.2. Constatări făcute pe sectoare cu prisma căii colmatată

Acest defect s-a întîlnit atît pe sectoare de cale pe care substratul există dar este necorespunzător, cît și pe cele pe care el lipsește cu desăvîrșire. Fenomenul de colmatare apare ca urmare a faptului că particulele fine din pămînturile din terasamente sînt antrenate de curenții hidrodinamici ce apar sub circulația materialului rulant și neîntîlnind nici-o barieră în mișcarea lor, ajung pe piatră spartă din prisma căii de care aderă. În timp, concentra-

ția particulelor de pământ în prisma oșii crește, modificăm comportamentul acesteia. În condițiile în care prisma oșii își reduce foarte mult capacitatea drenantă, ea nu mai poate prelua elastic solicitările mecanice [150], rezistența electrică a prismei scade vertiginos, fiind posibilă apariția unor accidente de circulație cauzate de semnalizări eronate pe liniile dotate cu bloc de linie automat [160]. În zonele în care substratul este complet absent, acest defect favorizează evoluția rapidă a albiilor și pungilor de balast ca urmare a faptului că în prezența umidității crescute, a concentratorilor de eforturi ce apar în jurul granulelor de piatră de dimensiuni mari, fața superioară a terasamentului este mai ușor străpunsă de piatră spartă care pătrunde în corpul terasamentului. Pe aceste sectoare de cale, linia prezintă numeroase deripări și denivelări, necesitând înțreținere intensă.

În cele două exemple prezentate (fig. 2.5 și 2.6), un sector fără substrat și altul cu substrat necorespunzător, prisma oșii are un înalt grad de colmatare, cu consecințele menționate ce decurg de aici.

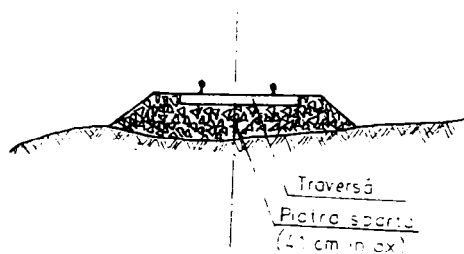


Fig. 2.5. Profil transversal prin linia II Buzău-Adjud, km. 228+000 (prisma oșii colmatată).

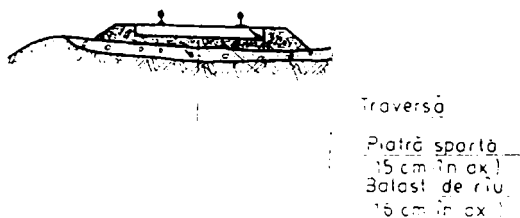


Fig. 2.6. Profil transversal prin linia II Ploiești-Buzău, km. 80+790 (prisma oșii colmatată).

În cazul liniei II Buzău-Adjud, km. 228+000 cu toate că grosimea stratului din piatră spartă este mărită, acest lucru nu a putut suplina absența substratului.

Pe cel de al doilea tronson ales pentru exemplificare (fig. 2.5), cu toate că grosimile stratului din piatră spartă și substratului sînt suficiente pentru o căi portare bună a oșii, datorită calității slabe a substratului, li-

nia prezintă un grad mare de instabilitate.

2.3.3. Constatări făcute pe zonele cu traverse noroioase

Traversele noroioase apar pe sectoarele de cale pe care substratul lipsește sau este necorespunzător și unde în plus există condiții favorabile de stagnare a apei în exoes o perioadă lungă de timp sau chiar în permanență. Este cazul liniilor dintre peroa-

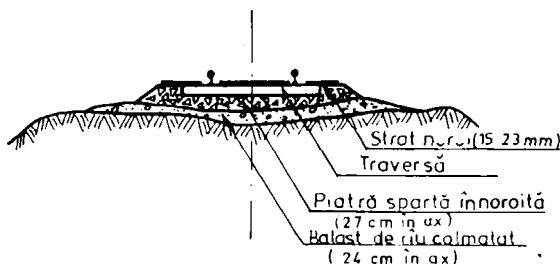


Fig. 2.7. Profil transversal prin linia II Buzău-Adjud, km. 230+700 (traverse noroioase).

produse de trafic, acest tip de defect evoluează de asemenea în punji de balast. Efectele acestui tip de defect asupra oăii sînt asemănătoare cu cele întîlnite în cazul prismei oăii colmatate, cu deosebirea oă în acest caz defectele apar în puncte izolate, în special la joante, zone în care fenomenele hidrodinamice produse de circulația materialului rulant sînt mult mai intense comparativ cu restul panoului de cale.

În exemplul prezentat (fig. 2.7) al unei traverse de la joantă, defectul de substrat este cuplat cu slaba întreținere a joantei, deplășirile pe verticală sub circulația fiind de ordinul a 15...20 mm. Aceste deplășiri permit apariția unor curenți de apă deosebit de intensi care antrenează particulele fine ale pămîntului din terasament care pătrund în prisma oăii și se depun și pe traverse. În timp, în cazul prezentat, stratul de noroi depus a atins o grosime apreciabilă. Cel mai mare procent de traverse noroioase se înregistrează la joante datorită faptului că acolo fenomenele dinamice și hidro-

tările dinamice nu depășesc portanța terasamentului, traversele noroioase se mențin în sub această formă timp îndelungat, pe cînd dacă portanța terasamentului este inferioară solicitărilor

dinamice sînt cele mai intense.

2.3.4. Constatări făcute pe trosoane cu albi și punji de balast

Albiile și punjile de balast s-au întîlnit atît pe zone fără substrat oît și pe zone pe care acesta era prezent dar caracteristicile sale nu i-au permis să prevină apariția unor defecte de asemenea natură. Sub efectul solicitărilor dinamice produse de materialul rulant și în prezența apei care stagnează permanent în corpul terasamentului, albiile (fig. 2.8) au evoluat în punji (fig. 2.9) care în unele cazuri studiate au depășit 2 m adîncime. Toate tipurile de defecte prezentate

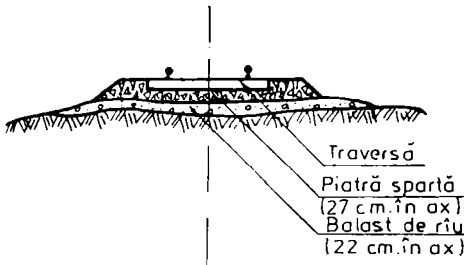


Fig. 2.8. Profil transversal prin linia Făurei-Tecuci, km. 57+645 (pungă de balast incipientă).

șeuri de zgură și piatră spartă). În incinta

anterior, netratate din timp se vor finaliza ca punji de balast. În condițiile nedrenării apei d pe fața superioară a terasamentului, pe multe zone ale sectorului Tîrgu Oana-Ghimeș de pe linia Adjud-Cîceu, sîb circulația a avut loc pătrunderea în corpul terasamentului a materialelor utilizate la balastarea oții (balast cu de-

șeuri de zgură și piatră spartă). În incinta formată în terasament de aceste materiale drenante, a a a pătruns mai ușor în terasament, ceea ce a dus la micșorarea și mai mult a rezistenței p solicitările dinamice, — lumul de piatră spartă înglobat crescînd conti-

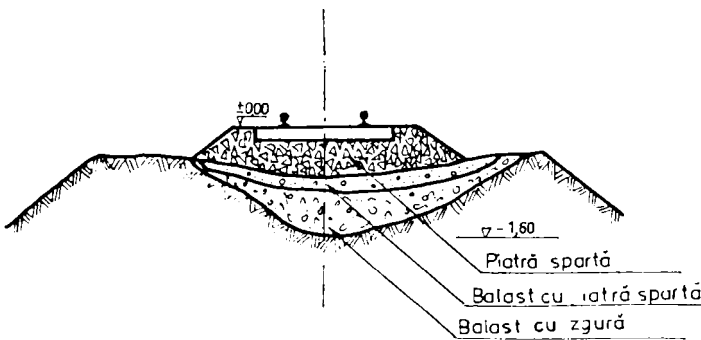


Fig. 2.9. Profil transversal prin linia Adjud-Cîceu, km. 77+500 (pungă de balast avansată).

nuu pe seama materialului introdus suplimentar în cale pentru asigurarea menținerii suprastructurii în limite apropiate de cele admise.

Pe linia Făurei-Teocui, în zona sondajului prezentat în fig. 2.8, în sezonete bogate în precipitații, pentru asigurarea unor condiții minime de circulație, sînt necesare buraje la 2...3 zile, denivelările atîngînd chiar și în acest condiții 15...20 cm.

În zonele cu punți de balast, ca urmare a materialului de balastare înglobat în masa terasamentului, s-au observat umflări laterale în zona banchetelor.

2.3.5. Constatări făcute pe terasamentele gelive

Aceste defecțe se manifestă prin apariția burdușirilor la cale în perioadele de îngheț-dezghet, perioade în care calea prezintă numeroase denivelări. De exemplu, pe linia Adjud-Giceu în zona km.49+495 grosimea totală a straturilor drenante aflate deasupra terasamentului este de 58 cm (fig. 2.10). În perioadele de îngheț-dezghet,

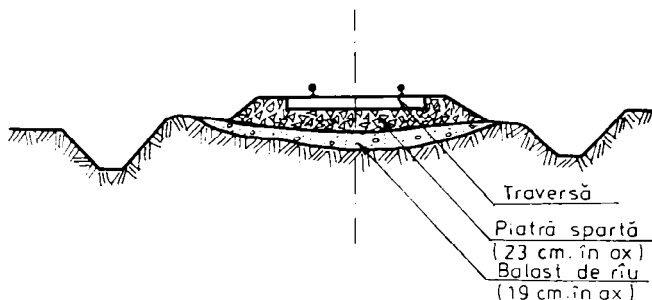


Fig. 2.10. Profil transversal prin linia Adjud-Giceu, km. 49+495 (terasament geliv insuficient protejat termic.

foarte sensibil la îngheț conform criteriului lui Cassagrande. Ținînd seama și de faptul că în această zonă adîncimea de îngheț dată de STAS 6054-77 "Teren de fundare. Adîncimi maxime de îngheț. Zonarea teritoriului Republicii Socialiste România" este de 80 cm, rezultă că terasamentul respectiv nu este suficient protejat contra fenome-

respectiv toamna și primăvara, linia prezintă numeroase denivelări care conduc la introducerea de restricții de viteză, cu toate că se face întreținerea și a că. Anz zele de laborator pe probe prelevate din terasament au indicat că pămîntul din terasament este

nelor de îngheț-dezghet și de aceea în perioadele respective deranjamentele apărute la terasament se repercutează asupra stării generale a oăii în mod negativ.

Având în vedere faptul că pe parcursul efectuării cercetărilor referitoare la substrat atât pe raza Regionalei de Căi Ferate Galați cât și la nivelul întregii rețele, a rezultat că peste 90% din terasamentele vechi sînt construite din pămînturi foarte sensibile la îngheț, protecției termice a acestor terasamente prin substrat și prisma oăii va trebui să i se acorde atenția cuvenită.

Pe baza cercetărilor prezentate s-a întocmit harta principalelor defecte de infrastructură cauzate de substrat la nivelul regionalei analizate (fig. 2.11).

2.4. CONCLUZII PRIVIND ANALIZA SUBSTRATURILOR STUDIATE

Analiza critică a defectelor de substrat de pe raza Regionalei de Căi Ferate Galați, analiză ce poate fi considerată reprezentativă pentru majoritatea oăilor ferate române ca urmare a cuprinderii majorității tipurilor de defecte ce pot apărea, permite tragerea unor concluzii utile pentru evidențierea funcțiilor ce revin substratului și stabilirea unor criterii pentru proiectarea, executarea și întreținerea acestui element important al oăii, dintre care se menționează:

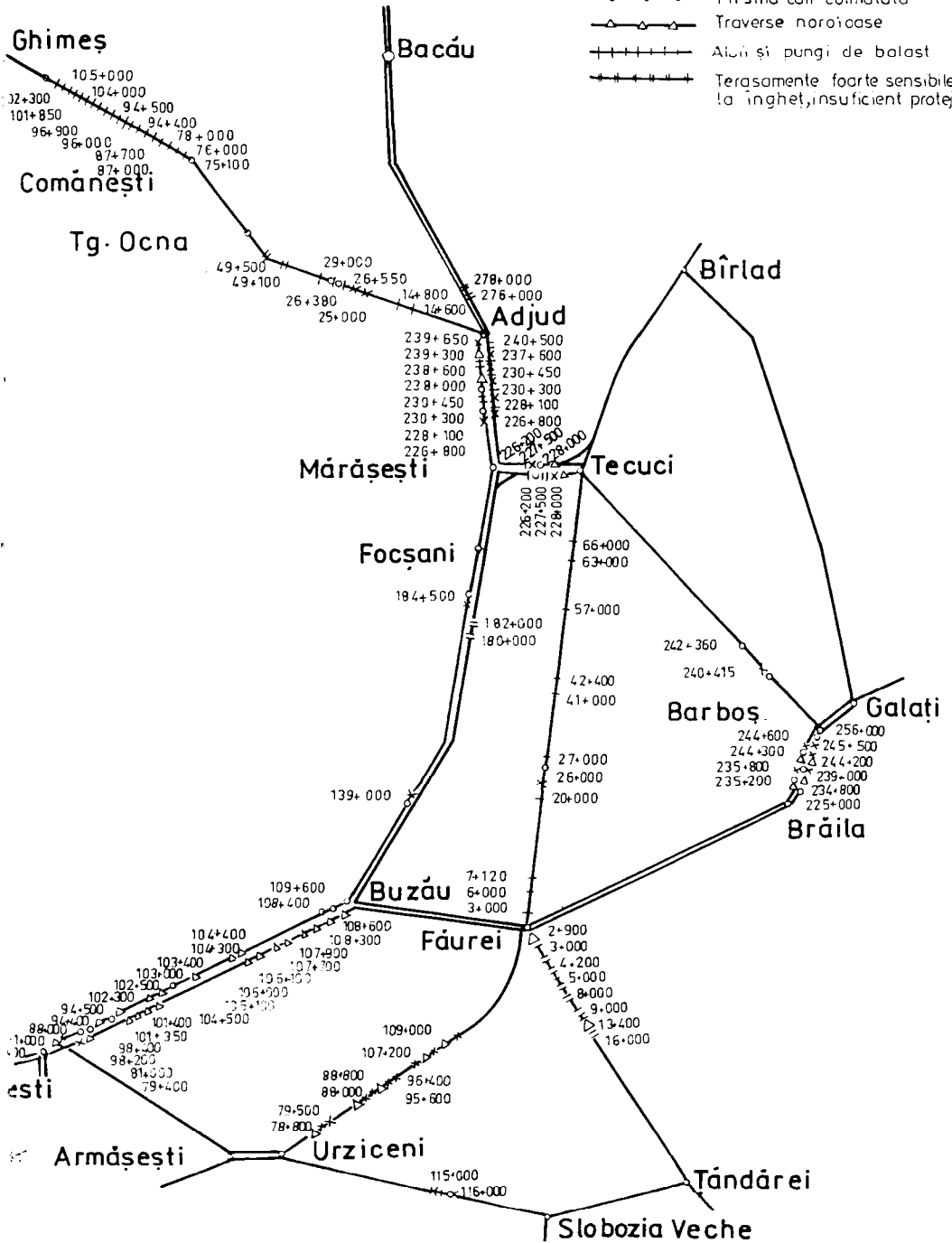
1. - absența substratului pe numeroase sectoare de cale ca de exemplu: Urziceni-Făurei (km. 78-79, 95-96, 107-109), Adjud-Cioeu (km. 25-26) duce la instabilitatea oăii sub circulație datorită prezenței permanente a apei în cale;

2. - substratul colmatat (linia II Buzău-Adjud km. 138-139, 183-184, linia I Brăila-Galați km. 233-234, 238-239, 243-245, linia II Brăila-Galați km. 234-235, 243-244, liniile I și II Mărășești-Teouci km. 225-226, linia Făurei-Tăndărei km. 1-2, 13-14, linia Barboși-Teouci km. 240-241, 242-243, linia Făurei-Teouci km. 25-26, linia Urziceni-Slobozia Veche km. 115-117) a apărut ca urmare a faptului că între granulozitatea lui și cea a pămîntului din terasament nu a existat o corelație optimă care să asigure blocarea migrării particulelor fino din terasament antrenate hidrodinamic în substrat;

3. - prisma oăii colmatată (linia II Ploiești-Buzău km. 79-80, 87-88, 93-94, 99-100, linia I Buzău-Adjud km. 201-202, linia II Buzău-Adjud km. 138-139, 183-184, 227-232, linia I Brăila-Galați km. 224-225, 233-234, 238-239, 244-246, 255-256, linia II Brăila-Galați km. 234-235, 243-244, liniile I și II Mărășești-Teouci km. 225-226.

LEGENDA

- Substrat colmatat
- Prisma căii colmatată
- △—△— Traversa noroioase
- + + + + + Alui și pungi de balast
- + + + + + Terasamente foarte sensibile la îngheț, insuficient protejate



REGIONALA DE CAI FERATE GALATI

Fig.2.11. Harta principalelor defecte de infrastructură cauzate de substrat.

linia Barboși-Tecuci km. 241-242, linia Făurei-Tecuci km. 25-26, linia Adjud-Ciceu km. 27-29) se semnalează pe toate sectoarele pe care substratul este absent sau necorespunzător și are drept cauză de apariție antrenarea și depunerea printre particulele de piatră spartă a materialului antrenat hidrodinamic sub circulație (apă și particule fine de pământ din terasament);

4. - traversele noroioase (linia I Ploiești-Buzău km. 78-79, 97-98, 100-101, 103-106, linia II Ploiești-Buzău km. 78-79, 91-94, 102-105, 107-108, linia II Buzău-Adjud km. 229-230, 237-238, linia I Brăila-Galați km. 233-234, 238-239, 243-245, 255-256, linia II Brăila-Galați km. 234-235, 243-244, linia Urziceni-Făurei km. 77-87-88, 94-95, 106-109, linia Adjud-Ciceu km. 26-29) au apărut de asemenea pe zone cu substrat absent sau necorespunzător, având drept cauză depunerea pe traverse a materialului fin antrenat hidrodinamic din terasament;

5. - albiile și pungile de balast (linia I Buzău-Adjud km. 22-23, 236-237, 239-240, linia II Buzău-Adjud km. 225-230, 237-239, linia I Adjud-Bacău km. 275-278, linia Făurei-Tândărei km. 1-4, 7-12-13, 15-16, linia Făurei-Tecuci km. 3-7, 19-20, 25-26, 40-41, 50-57, 64-65, linia Adjud-Ciceu km. 13-14, 27-28, 74-78, 86-87, 95-99, 100-104) au drept cauză de apariție lipsa totală a substratului, motiv pentru care particulele de piatră spartă din prisma oăii având dimensiuni mari penetrează fața superioară a terasamentelor cu pondanță redusă;

6. - terasamente foarte sensibile la îngheț, insuficient protejate termic (liniile I și II Mărășești-Tecuci km. 225-227, linia Făurei-Tândărei km. 1-5, 7-8, 12-16, linia Adjud-Ciceu km. 25-27, 48-49) se semnalează pe zonele pe care substratul având grosime redusă sau fiind absent, nu a putut asigura cu prisma oăii protecție termică a pământurilor gelive din terasamente;

7. - toate aceste defecte majore ale infrastructurii au ca punct de plecare substratul necorespunzător sau absent. Rezultă astfel pentru remedierea acestor deranjamente este necesară introducerea unui substrat apt să preia toate funcțiile ce-i revin;

8. - defectele constatate relevă de asemenea și în mare măsură funcțiile pe care ar fi trebuit să le preia substratul pentru a fi util în ansamblul oăii. Rezultă că el trebuie să se comporte bine ca filtru invers între terasament și prisma oăii, să dreneze apele ce ajung în cale, să rupă ascensiunea capilară a apei spre prisma oăii, să uniformizeze și să reducă eforturile ce se transmit terasamentului, să asigure protecția termică a acestuia fiind este cazul

Analiza critică nu a fost în măsură să evidențieze acțiunea vibrațiilor asupra substratului dar luând în considerare informațiile oferite de literatură, la stabilirea caracteristicilor lui va trebui să se țină seama și de acest aspect;

9.- faptul că pe unele sectoare de cale aflate în vecinătatea celor cu defecte de substrat sau mai depărtate, dar în condiții similare hidrometeorologice și de trafic, substratul și calea în general se prezintă în condiții bune de exploatare, denotă că substraturile bine dimensionate, respectiv realizate, sînt capabile să preia în bune condiții acțiunile transmise de traficul feroviar fără a se produce defecțiuni în infrastructură. Avînd în vedere considerentele menționate, autorul și-a propus efectuarea unor cercetări care să ducă la stabilirea unor criterii științifice pe baza cărora să poată fi posibilă proiectarea, executarea și întreținerea substratului în asemenea condiții ca el să fie în stare de funcționare întreaga perioadă de serviciu, în condițiile menținerii infrastructurii la o capacitate portantă capabilă să reziste acțiunilor dinamice din trafic.

În cele ce urmează, studiile se vor axa pe studierea amănunțită a substratului căii.

3. CERCETARI CU PRIVIRE LA FUNCTIILE SUBSTRATULUI CAII FERATE

Din studiile prezentate anterior a rezultat că pentru o dimensionare corectă a infrastructurii unei căi ferate capabilă să suporte un trafic intens, comportîndu-se bine la solicitările dinamice din acesta, este necesar să se studieze și să se găsească metode de dimensionare și realizare a substratului căii. În acest sens, în cele ce urmează se prezintă cercetări proprii asupra aspectelor menționate.

3.1. STUDIUL SUBSTRATULUI CAII CA ELEMENT DRENANT AL APELOR PLUVIALE

3.1.1. Studii teoretice cu privire la drenarea apelor pluviale prin pămînturile neccezive, cu referire la substrat

Sînt foarte numeroase cazurile în care apa vine în contact direct cu suprastructura și infrastructura căii ferate. Cel mai frecvent se întîlnește apa provenită din ploii și cea rezultată în urma topirii zăpezilor. Pe rețeaua CFR se mai află și zone influențate uneori de inundații. Cum majoritatea terasamentelor sînt constituite din pămînturi coezive, ale căror calități și în special capacitatea portantă sînt afectate de creșterea umidității, este necesar ca la construcția căii să se aibă în vedere realizarea unor soluții constructive care să asigure evacuarea cît mai rapidă a apelor din zona platformei. Acest lucru este cu atît mai important, cu cît pe lîngă reducerea stabilității generale a căii ca urmare a diminuării portanței terasamentelor, apa liberă aflată în prisma căii și pe fața superioară a terasamentelor întreține fenomenele hidrodinamice care duc la colmatarea cu particule fine din terasament a prismei căii (așa după cum au arătat și unele studii ale autorului [106]), la apariția înnozirii în special la joante [150], la reducerea și chiar anularea elasticității prismei căii [127], la reducerea rezistenței electrice în stratul din piatră spartă [160].

Pătrunderea apei în cale fiind imposibil de prevenit, se impune anihilarea sau cel puțin limitarea efectelor sale asupra elementelor căii sensibile la influența sa, avînd în vedere că aceste efecte sînt direct proporționale cu durata stagnării apei în cale. Rezultă astfel, că prin evacuarea cît mai rapidă și eficientă a apei din cale, se asigură conservarea calităților terasamentului, substratului și prismei căii. Realizarea feței superioare a terasamentului cu pante continue, înclinate cu 5% spre taluzuri, așa cum prevăd normele tehnice în vigoare, nu este suficientă, cercetările și studiile efectuate în cale [106], [150], [152] indicînd că și în cazul unui terasament bine executat și a unei prisme a căii corespunzătoare, se produc punți de balast și înnozirea prismei căii. Prin introducerea substratului între terasament și prisma căii, se constată o îmbunătățire radicală a situației. Autorul consideră că acest lucru se datorează faptului că materialul din substrat avînd permeabilitatea mai redusă decît piatra spartă, nu permite scesul rapid și în totalitate al apei pe fața superioară a terasamentului. Chiar și în cazul unor ploii torențiale, în condițiile unei prisme constituite din piatră spartă curată, necolmatată, apa deși ajunge în totalitate la fața superioară a substratului care este constituit din balast sau nisip, nu permite penetrarea sa de către întregul volum de apă datorită porozității mai reduse, și de aceea o mare parte din volumul de apă scurs prin prisma căii este drenat în afara căii

chiar pe zona superioară a substratului. O parte din apă pătrunde totuși și în substrat, dar în cantități mult diminuate în comparație cu situația în care substratul lipsește. Din apa ce pătrunde în substrat, o parte ajunge chiar la baza acestuia, respectiv pe fața superioară a terasamentului, dar chiar și în cazul saturării materialului din substrat, cantitatea de apă este mult diminuată și în consecință mai puțin periculoasă comparativ cu situația rezemării prismei căii direct pe terasament. Datorită diferenței de nivel piezometric dintre zona de mijloc a căii și cele de margine (fig. 3.1),

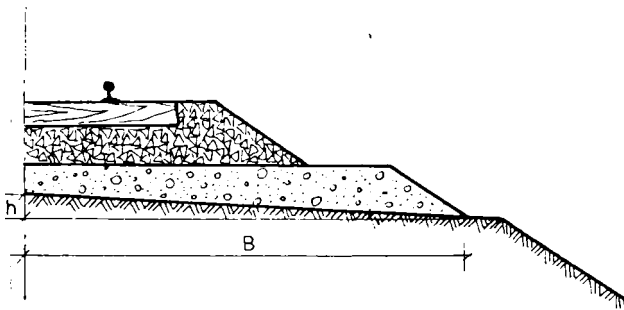


Fig. 3.1. Elemente de calcul folosite pentru stabilirea timpului de drenare a apei prin substratul căii (calea cu substrat).

Fenomenele hidrodinamice și aerodinamice ce sînt produse de tasarea elastică a traverselor sub circulație. Asupra acestor fenomene studiate de către autor se va reveni detaliat ulterior.

Introducînd unele ipoteze simplificatoare, autorul a stabilit timpul necesar pentru drenarea apei din substratul căii. Aceste ipoteze s-au introdus ca urmare a faptului că fenomenele sînt deosebit de complexe și nu pot fi modelate matematic corespunzător, calculele bazate pe aceste ipoteze permițînd obținerea unor concluzii care lămuresc modul în care are loc drenarea apei în substrat. Astfel, se au în vedere următoarele ipoteze de calcul:

- se face abstracție de fenomenele hidro și aerodinamice ce apar în cale;
- substratul este alcătuit dintr-un nisip mijlociu, avînd un coeficient de permeabilitate $k = 0,1 \text{ cm/s}$;
- curgerea apei este laminară.

În aceste condiții, timpul T în care apa se drenează din axul căii pînă la marginea substratului se exprimă cu relația (3.1)

se produce și drenarea apei acumulate la un moment dat în substrat, astfel că în timp, treptat, toată apa din substrat este eliminată, evitîndu-se astfel și diminuarea portanței terenurilor constituite din pămînturi coezive.

Procesul de evacuare a apei din substrat este accelerat și de

$$T = \frac{B}{v} \quad (3.1)$$

în care:

B este jumătatea lăţimii bazei substratului căii (fig. 3.1), experimentată în cm;

v - viteza medie de curgere a apei prin nisip, stabilită de Darcy [71],[74], exprimată în cm/s:

$$v = ki \quad (3.2)$$

în care:

k este coeficientul de permeabilitate, experimentat în cm/s;

i - gradientul hidraulic, care se defineşte ca raportul între diferenţa de nivel piezometric h între două puncte şi drumul B străbătut de apă între cele două puncte:

$$i = \frac{h}{B} \quad (3.3)$$

Admiţând că între punctul de plecare şi de sosire al particulei de apă este o diferenţă de nivel de 15 cm (deci particula de apă se deplasează prin substrat pe faţa superioară a terasamentului) şi că lăţimea bazei substratului este de 6,00 m, deci $B = 3,00$ m, valoarea lui i rezultă:

$$i = \frac{15 \text{ cm}}{300 \text{ cm}} = 0,05$$

Iar viteza medie de curgere va fi:

$$v = 0,1 \text{ cm/s} \cdot 0,05 = 0,005 \text{ cm/s}$$

Timpul T în care particula de apă se drenează din axul căii în afara substratului rezultă:

$$T = \frac{300 \text{ cm}}{0,005 \text{ cm/s}} = 60.000 \text{ s}$$

Transformând acest timp în ore:

$$60.000 \text{ s} : 3.600 = 16,6 \text{ ore}$$

Din cele de mai sus rezultă că după circa 17 ore de la ultima ploaie apa este practic drenată din calea ce dispune de un substrat alcătuit din nisip mijlociu. În situaţia în care granulozitatea nisipului creşte, timpul de drenare se reduce, însă după cum se va vedea, granulozitatea care din acest punct de vedere ar fi mai bună, are influenţe de diminuare a efectului pozitiv a altor funcţii ale acestuia.

3.1.2. Studii privind înnoirea căii

Pornind de la cele prezentate anterior, se poate afirma că și în cazurile ideale, cu substrat ce permite o drenare bună a apei, aceste staționază în substrat un anumit timp, în care circulă numeroase garnituri de tren, care declanșează fenomene hidrodinamice. Cazurile reale se deosebesc radical de cele teoretice, fenomenele petrecându-se mai dezavantajos în cale, în sensul că perioada de stagnare a apei în infrastructură, respectiv în prisma căii este apreciabil majorată, nu puțin fiind cazurile în care contactul apă-terasament este practic permanent. Cauzele prelungirii sau permanetizării stagnării apei în cale evidențiate cu ocazia studiilor efectuate de autor [106] putând fi:

- colmatarea prismei căii. În acest caz se mărește timpul de retenție a apei prin faptul că ea ajunge mai înoet la substrat ca urmare a scurgerii mai groase prin piatra spartă colmatată comparativ cu piatra spartă curată, precum și prin faptul că însăși prisma căii colmatată înmagazinează la rândul ei apa pe care apoi o cedează în timp, prelungind perioada de stagnare a acesteia;

- substrat absent sau alcătuit din material drenant cu granulozitate necorespunzătoare sau substrat colmatat. Substratul constituit din material fin se poate întilni la fel ca și cel colmatat (care are de obicei granulozitate prea mare) pe sectoare de cale pe care materialul s-a așternut la întâmplare, fără studii prealabile, lucru explicabil deoarece la data executării căilor analizate nu existau norme pentru proiectarea și executarea substratului căii;

- terasamente cu fața superioară cu pante discontinue, contrapante, albiери. Aceste situații se întilnesc des pe rețeaua CFR, ele apărind ca urmare a viciorilor de execuție, întreținere sau proiectare (sarcinile de trafic pe baze cărora s-a făcut proiectarea au fost mai mici decât cele apărute în perioada de exploatare);

- întreținerea redusă sau deloc a dispozitivelor de evacuare a apei din zona căii;

- inundarea periodică a căii.

În condițiile stagnării îndelungate sau în permanență a apei în cale (în timp), sub influența circulației se produce înmorcirea tuturor elementelor căii. Dacă în ceea ce privește traversele și prisma căii, înmorcirea produce diminuarea funcțiilor lor (reducere perioadei de serviciu în special la traversele din lemn și metal, diminuarea stabilității căii și rezistenței electrice de balast), în cazul substratului, înmorcirea echivalează cu scoaterea lui din funcțiune ca urmare a anihilării funcțiilor sale.

Pentru elucidarea aspectelor legate de înmorcirea căii, autorul a efectuat studii de teren pe zone cu procent înalt de înmorcire pre-

cum și analizele de laborator ce s-au impus, unele dintre asemenea studii prezentându-se sumar în cele ce urmează.

3.1.2.1. Studii pe teren asupra procesului de înnoire a căii

Procesul producerii înnoirii oăii s-a studiat pe mai multe sectoare de cale, rezultatele cele mai concludente obținându-se pe linia II Buzău-Adjud în zona km. 226-232. Pe acest sector de cale, condițiile locale (substrat absent sau necorespunzător, terasament cu portanță redusă, supus inundațiilor, traverse cu tasări elastice mari, trafic intens) au favorizat accelerarea înnoirii oăii și apariția unor fenomene cu caracter mai deosebit. Astfel, în zona km. 230+700, substratul alcătuit din balast de rîu era foarte colmatat, la fel ca și prisma căii (fig. 2.7) Atît pe traverse, cît și pe piatră spartă s-a format un strat din material fin cu grosimea de 15... 23 mm. Cu toate că lucrările de întreținere au fost intense în comparație cu alte sectoare, calea prezenta instabilitate accentuată, tasarea elastică a suprastructurii fiind de ordinul a 20 mm în perioada de studiu (vara anului 1973).

Ca punct de observație a fenomenelor ce au loc în cale în timpul derulării traficului, s-a ales joanta, unde tasările erau mai pronunțate decît în restul panoului. În stare de repaos, sub traversele de la joantă exista un spațiu liber format între talpa traversei și patul din piatră spartă, a oării înălțime era de 12 mm (fig. 3.2, A). În timpul trecerii convoaielor de vagoane, s-a constatat că sub greutatea acestora șina se deformează elastic și odată cu ea se tasează și traversele, golurile aflate sub ele (denumite în mod curent lășături carbe deoarece nu se observă decît atunci cînd se face decaparea traverselor prin îndepărtarea pietrei sparte pînă sub nivelul tălpilor traversei) fiind ocupate de traverse (fig. 3.2, B). Această deplasare a traversei pe verticală și ocuparea spațiilor libere sub traversă făcîndu-se în ritmul trecerii roților, are frecvență ridicată. Dacă se consideră un tren care circulă cu 120 km/h, adică cu 33,3 m/s și cu distanța medie între osiile vagoanelor de 4 m, rezultă că într-o secundă vor trece printr-un punct, un număr de:

$$\frac{33,3}{4} = 8,3 \text{ osii}$$

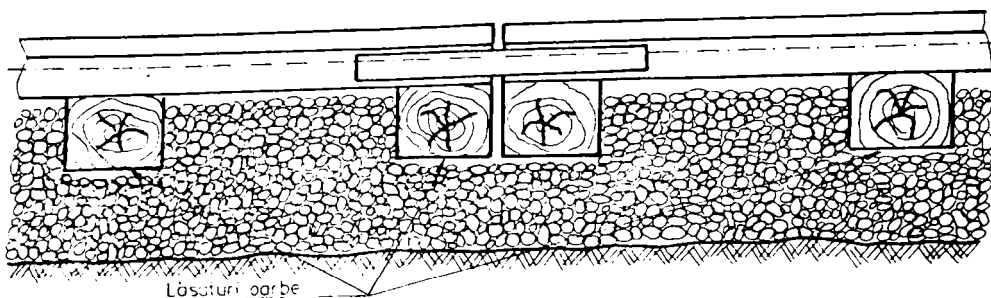
acest număr reprezentînd frecvența tasării pe verticală a oăii, respectiv 8,3 Hz.

Datorită frecvenței ridicate a deplasării pe verticală a căii, respectiv a traverselor, apa este pusă în mișcare instantaneu, cedînd locul pe care îl ocupa în interiorul lășăturilor oarbe, traverselor. Pe lângă deplasarea apei în interiorul prismei căii, ea este împinsă și în afara căii pe direcții în general înclinate. După perioade mai bogate în precipitații, oînd și volumul de apă din cale a fost mai mare, practic prisma căii fiind saturată cu apă pînă la jumătatea înălțimii traverselor, apa este expulzată în afara prismei căii la înălțimi de circa 40 cm (la trecerea trenurilor de călători) și la înălțimi de 20...25 cm la trecerea trenurilor de marfă ca urmare a faptului că în cazul acestora din urmă viteza de circulație fiind mai redusă, viteza de înlocuire a apei cu traversele în lășăturile oarbe a fost mai redusă și implicit și viteza inițială imprimată curenților de apă este mai redusă decît în cazul trenurilor de călători care circulă cu viteze sporite.

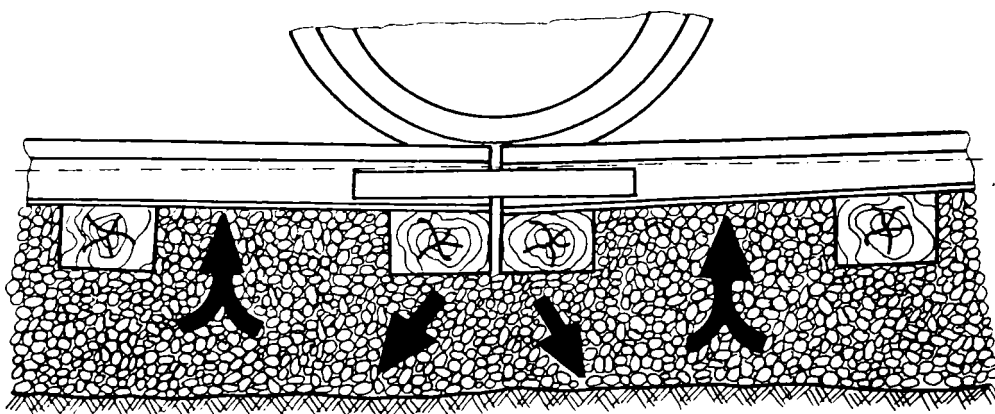
Ținînd cont și de faptul că pe lângă revenirea elastică a șinei și implicit a traverselor în poziția inițială, apare și ridicarea căii față de poziția de repaos datorită undei inverse a șinei (fig. 3.2, C), autorul consideră că în timpul derulării traficului, traversele lucrează ca niște pistoane de pompe aspiratoare-respingătoare ale căror supape nu etanșează complet, prezentînd scăpări de lichid.

Săltările elastice ale căii datorită undei inverse a șinei sînt de ordinul a 1...2 mm [60], funcție în primul rînd de starea căii, ele fiind mai pronunțate în fața primei osii și după ultima osie din convoi, precum și între osiile consecutive din convoi aflate la distanțe mai mari (în cazul vagoanelor cu două osii sau a celor pe boghiuri-între osiile dintre boghiuri aflate spre mijlocul vagonului).

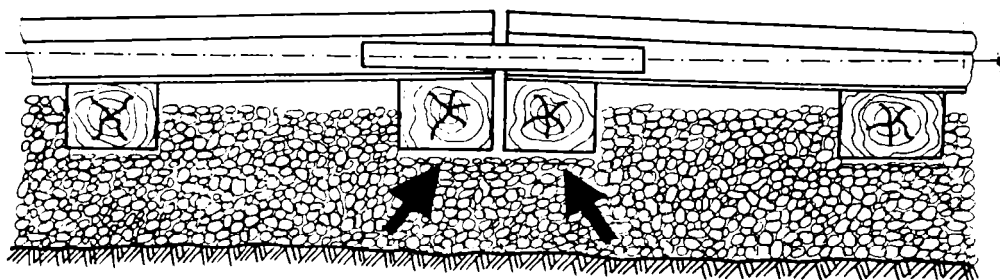
Pe baza acestor elemente și constatări, rezultă că datorită lășăturilor oarbe și deformațiilor elastice ale șinelor (ridicării și coborîrii acestora față de poziția în repaos), apa din prisma căii este pusă în mișcare sub forma unor curenți hidrodinamici (prezentăți prin săgeți în fig. 3.2, B și C), iar datorită identificării acestor fenomene, autorul a explicat modul în care se produce înnoirirea căii. Acest lucru este posibil numai pe sectoarele de cale pe care prisma căii este așezată direct pe terasament sau substratul este neocrespunzător. O a doua condiție propice înnoiririi căii se constată că este prezența timp îndelungat a apei în cale, deoarece apa este agentul de transport al particulelor fine de pămînt. Pe liniile pe care prin natura materialelor transportate este posibilă căderea de material fin în cale (linii pe care se transportă produse de balastieră, cărbuni sau minereu) nu se semnalează înnoiriri ale căii decît pe sectoarele



A) Deformată (nulă) cǎii neîncărcată



B) Deformată cǎii (coborîre) încarcată la joantă



C) Deformată cǎii (ridicare) între osiile vagoanelor

Fig. 3.2. SCHEMATIZAREA PRODUCERII FENOMENELOR
HIDRODINAMICE ÎN CALE.

pe care stagnează apa.

Revenind la procesul innoroirii căii, în urma observațiilor făcute pe teren, s-a constatat că datorită curenților hidrodinamici sînt antrenate particulele fine din terasament (datorită prezenței apei pe terasament, coeziunea dintre particulele de pămînt este diminuată, ceea ce permite ruperea mai ușoară a lor din terasament de către curenții hidrodinamici) precum și cele căzute din vagoane, particule care sînt deplasate în soluție prin prisma căii și fața superioară a acestuia și a traverselor. Aceste suprafețe sînt mai uscate în perioadele călduroase și cu soare și ca urmare a diferenței de umiditate, particulele antrenate în soluție au tendința de a ajungerea pe ele să-și reducă viteza de deplasare și chiar să se fixeze pe suprafețele respective. De asemenea, pe măsură ce concentrația soluției în particule fine crește (în perioadele mai călduroase și sărace în precipitații), acestea devin mai puțin mobile, începînd să adere pe particulele cu dimensiuni mai mari ale pietrei sparte, pe fața superioară a traverselor. În intervalul dintre trenuri, cînd fenomenele hidrodinamice încetează ca urmare a dispariției cauzelor ce le produc, crește concentrația soluției în particule fine în special pe traverse și piatra spartă ca urmare a aerisirii soluției, a drenării apei și temperaturii mai ridicate, motiv pentru care soluția devine mai puțin mobilă și stagnează mai mult pe traverse și piatra spartă. Acesta este momentul cel mai propice pentru innoroirea traverselor și colmatarea prismei căii. Cu timpul, pe măsură ce umiditatea generală din cale scade, particulele aderă mai puternic la traverse și piatra spartă, în etapele secetoase pernele formate din aceste particule rămînînd aderente. În perioadele ploioase, pernele din material fin nu pot fi antrenate și eliminate complet ca urmare a faptului că pe fața superioară a traverselor și pietrei sparte nu este apă în exoes și nici în mișcare rapidă. Ținînd cont de caracterul ciclic al concentrării soluției de particule fine în apă, aflat în directă legătură cu alternarea perioadelor ploioase și secetoase, rezultă că grosimea depunerilor pe fața traverselor și prisma căii crește treptat, ajungînd pînă la 20...30 mm, o prezentare calitativă a dependenței concentrației de particule fine de timp prezentîndu-se în fig. 3.3.

Analizîndu-se cu ocazia acestor cercetări modul în care se depun pernele din material fin pe fața superioară a pietrei sparte și traverselor, a rezultat că acest lucru depinde de modul în care sînt înglobate traversele în prisma căii. Pe liniile pe care piatra spartă se află sub nivelul feței traversei, perna de material se

formează numai între traverse, peste piatra spartă, deși sub circulația materialului rulant suspensia aflată în mișcare ajunge și pe traverse. În figura 3.4 se prezintă una din multiplele imagini din cale întîlnite și care justifică cele de mai sus. În intervalul dintre trenuri, soluția se scurge înapoi în prisma oșii, fără a se depune în cantități importante, ci numai murdărind traversele. În cazul în care prisma oșii depășește nivelul superior al traverselor, stratul din material fin se formează tot între traverse, extinzîndu-se puțin și în piatra spartă aflată peste traverse. În figura 3.5 se prezintă o imagine a acestui mod de înnoire, situații similare fiind analizate și pe alte numeroase amplasamente.

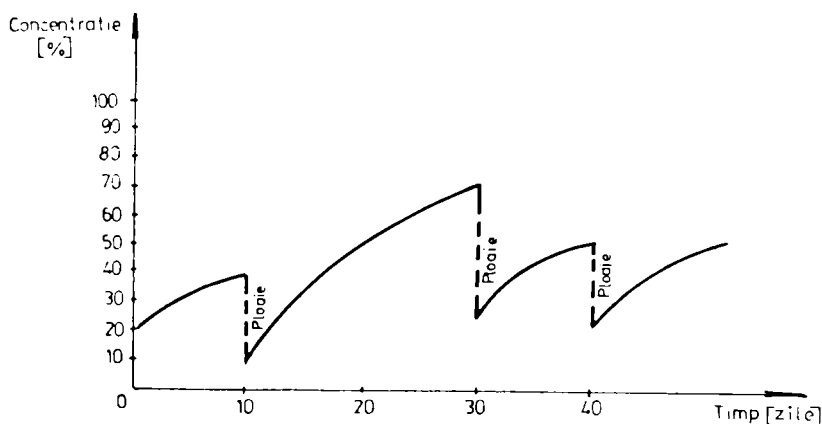


Fig. 3.3. Variația ciclică a concentrării soluției de particule fine în calea noroioasă, funcție de precipitații (timp).

Înnoroirea oșii datorită fenomenelor hidrodinamice produse de circulația materialului rulant studiată pe unele tronsoane de cale pe care circulă trenuri de marfă cu materiale fine ce cad din ele (linia București-Pitești în zona balastierelor Fusea, Mătăsaru, Ionești și linia Brăila-Galați în zona Barboși, unde circulă garnituri cu minereul precum și în zonele carbonifere, prezintă unele particularități. Cu ocazia unor sondaje efectuate în prima etapă a cercetărilor (anii 1970-74), a rezultat că pe aceste linii pe sectoarele pe care apa stagnează în cale, pe lângă colmatarea de jos în sus a substratului necorespunzător sau a prismei oșii (pe zonele fără substrat) prin fenomenul hidrodinamic, are loc și o colmatare de sus în jos cu particule fine căzute din vagoane. Fenomenul s-a putut observa foarte bine mai ales pe liniile pe care circulă garnituri cu minereu de fier, culoarea roșatică a acestuia indicînd cu mai mare precizie limitele



Fig. 3.4. Imagine de innoroire a oăii pe liniile cu prisma oăii incompletă (linia I Ploiești-Brașov, km. 64+062).



Fig. 3.5. Imagine de innoroire a oăii pe liniile cu prisma oăii cu exoes de piatră spartă (linia I Ploiești-Brașov, km. 63+978).

colmatării. Acest aspect nu este de neglijat, cu atât mai mult cu cât după unii autori[117], anual ajung în cale pe diferite căi, între 100 și 1.200 tone materiale diverse.

O altă posibilitate de sporire a cantității de material fin ce poate fi apoi antrenat hidrodinamic, o constituie fărâmițarea pietrei sparte cu caracteristici fizico-mecanice necorespunzătoare. Sub circulația materialului rulant și a burajului, în special a celui executat mecanic, această piatră se degradează treptat prin sfărâmare. În marea majoritate a cazurilor, fiind vorba și de o sensibilitate ridicată la îngheț-dezghet, procesul de degradare continuă până la fărâmițarea structurilor mai moi în particule foarte fine ce sînt antrenate de curenții hidrodinamici.

Similar cu aceste fenomene hidrodinamice, prin care particulele fine sînt antrenate de curenții de apă, se poate vorbi și de fenomene aerodinamice prin care aceleași particule, în absența apei, sînt puse în mișcare de curenții de aer ce iau naștere în zonele cu lășături carbe. Autorul consideră că fenomenele aerodinamice nu afectează negativ starea căii, ci dimpotrivă, datorită în primul rînd faptului că în momentul în care traversa se tasează sub circulație, curentul de aer ce ia naștere antrenează particulele fine în afara prisme căii. Odată scoase din prisma căii, particulele respective sînt preluate de suflul produs de tren și îndepărtate de linie. Se consideră că aceste fenomene sînt prea puțin importante pentru a fi studiate în detaliu.

Cercetările privind innoroirea căii demonstrează necesitatea ca substratul să fie corespunzător conceput și executat pentru a se preveni colmatarea sa pe direcția terasament-substrat, colmatarea de sus în jos fiind imposibil de controlat datorită faptului că nu se poate ști cu exactitate dimensiunea particulelor ce apar în prisma căii prin căderea din vagoane și fărâmițare. Atîta timp însă cît substratul este corespunzător, asigurînd drenarea corespunzătoare a apei, fenomenele hidrodinamice sînt diminuate, fără a se resimți în prisma căii. În aceste condiții nu mai poate avea loc nici colmatarea de sus în jos a substratului.

3.1.2.2. Studii de laborator cu privire la innoroirea căii

În vederea studierii din punct de vedere granulometric al modului în care se produce innoroirea căii, s-au prelevat probe din secțiunile de cale cu substrat necorespunzător, care au fost supuse anali-

zelor de laborator, curbele granulometrice fiind prezentate în figura 3.6. Pentru exemplificare și studiu se prezintă situația liniei I București-Ploiești, km.0+870 (linia IV din complexul București Nord). Sondajele efectuate în această zonă (fig. 3.7) relevă că de-a lungul timpului, atât substratul oțt și prisma oăii au fost intens colmatate, linia fiind înnoțită, iar pe traverse aflându-se deșus prin antrenare hidrodinamică un strat de 10...12 mm grosime de particule fine de pămînt. Pentru analizele de laborator s-au prelevat probe tulburate din terasament, substratul colmatat (aflat sub prisma oăii), substratul curat (prelevat dintre linii, din zone în care fenomenele hidrodinamice s-au resimțit mult diminuate) precum și din materialul deșus pe traverse.

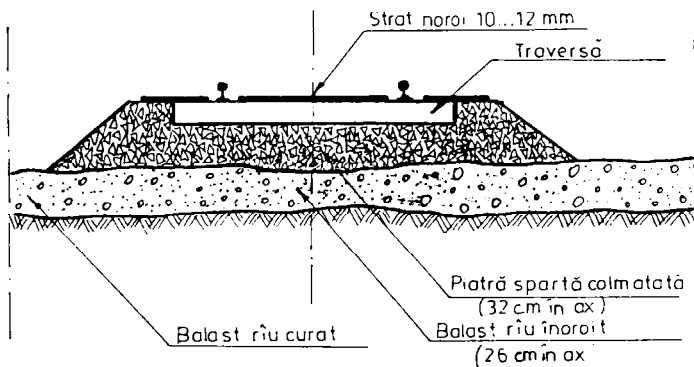


Fig. 3.7. Profil transversal prin linia I București-Ploiești, km. 0+870 (sector intens înnoțit).

Studiul curbelor granulometrice ale materialului deșus pe traverse și al substratului colmatat comparativ cu cele ale pămîntului din terasament și a substratului curat (fig. 3.6) relevă că în ceea ce privește materialul antrenat hidrodinamic și deșus în timp pe traverse și fața prismei oăii, este pusă în mișcare mai ales partea fină a pămîntului din terasament. În acest fel, pentru cazul ales, dacă pămîntul din terasament este o argilă prăfoasă, materialul antrenat hidrodinamic și deșus este mai apropiat de argilă decât de pămîntul din care a fost antrenat. De asemenea și balastul nisipos din care a fost executat substratul a devenit ca urmare un praf argilos cu conținut de nisip și pietriș. În exemplul ales, colmatarea substratului și prismei oăii a fost avantajată și de faptul că substratul a fost constituit dintr-un material mai grosier iar terasamentul dintr-un pămînt cu un grad mare de uniformitate și particu-

le mai fine, ceea ce a permis ca marea majoritate a particulelor antrenate hidrodinamic să migreze în substrat și prisma căii. Pe baza rezultatelor cercetărilor ce vor fi prezentate în paragraful 3.2, trăsând pe figura 3.6 punctele A și B între care trebuie să se încaadreze curba granulometrică a materialului din substrat, se observă că acesta nu era indicat pentru a fi folosit pe acest terasament. Prezența timp îndelungat a apei în cale favorizează menținerea perioade prelungite a concentrației soluției de particule antrenate hidrodinamic în care aceasta se poate deplasa sub influența circulației materialului rulant, limita până la care acesta devine imobil, fiind mare. Pe baza studiilor de laborator s-a realizat diagrama de variație a mobilității soluției de particule fine funcție de concentrație, prezentată în figura 3.8, ceea ce confirmă cele afirmate.

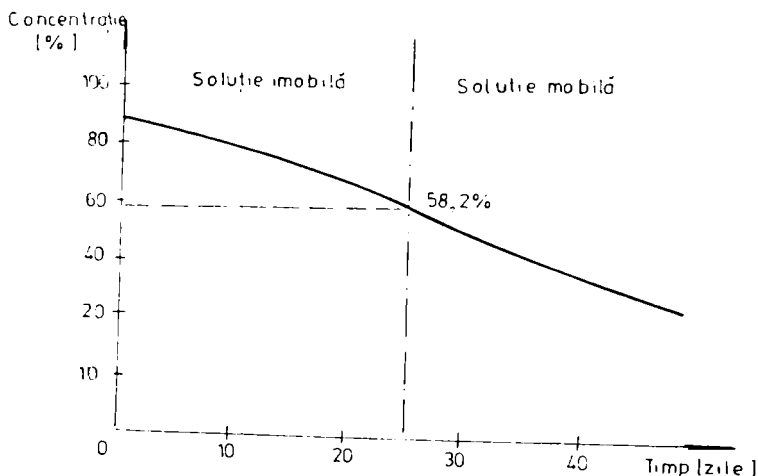


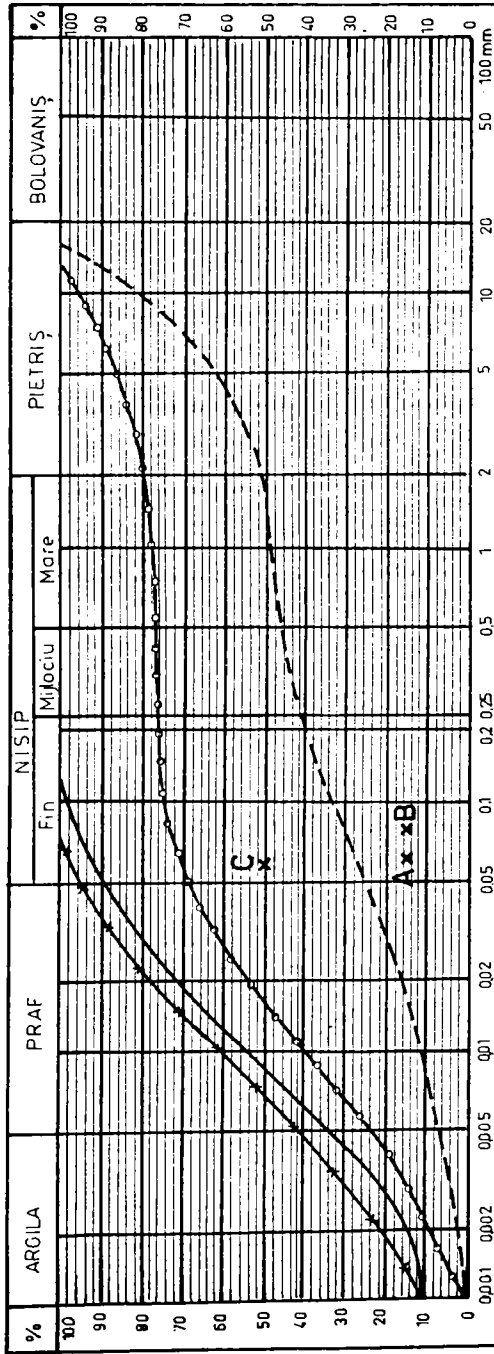
Fig. 3.8. Variația în timp a concentrației și mobilității soluției antrenate hidrodinamic.

Pentru întocmirea diagramei din figura 3.8, s-au prelevat probe din soluția în stare mobilă care au fost lăsate în vase descooperite în scopul evaporării lente a apei. În momentul în care soluția nu a mai curs la înclinarea ușoară a vaselor de depozitare, s-a determinat concentrația soluției, care reprezintă tocmai limita căutată.

3.1.3. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului ca element drenant al apelor pluviale

Din cercetările făcute, prezentate parțial anterior, rezultă

Fig.3.6. COMPOZITIA GRANULOMETRICĂ



Terasament

- $\phi < 0,005$ mm 32 % argilă
 $0,005 < \phi < 0,05$ mm 57 % praf
 $0,05 < \phi < 0,25$ mm 11 % nisip fin
 $0,25 < \phi < 0,50$ mm % nisip mijlociu
 $0,50 < \phi < 2,00$ mm % nisip mare
 $2,00 < \phi < 20,00$ mm % pietriș
 $\phi < 20,00$ mm % bolovaniș :

Modul de lucru: Metoda combinată

Data : 03.01.89

LEGENDA

- Terasament
- x — Noroi antrenat hidrodinamic
- - - Substrat curat (din afara căii)
- o — Substrat colmatat (din cale)

$$U_{\text{curat}} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{4,3}{0,0094} = 457$$

unele concluzii dintre care se menționează:

1. - apa care ajunge în prisma căii, substrat și pe fața superioară a terasamentului (din ploai, zăpezi, inundații) are efecte dăunătoare asupra acestora, motiv pentru care ea trebuie cit mai rapid evacuată;

2. - substratul este elementul de bază în ceea ce privește drenarea apelor menționate, sub acest aspect fiind îndoit ca el să fie aloțuit din nisip mijlociu sau mai mare;

3. - având în vedere faptul că între granulozitatea pământului din terasament și cea a pietrei sparte din prisma căii există mari diferențe, este necesar ca granulozitatea substratului să facă o trecere treptată de la una la cealaltă;

4. - datorită faptului că drenarea apei se face destul de lent, în substrat iau naștere sub circulația materialului rulant fenomene de natură hidrodinamică ce pot duce la colmatarea substratului și scoaterea lui din serviciu, fapt ce echivalează cu desființarea lui ca element al căii, cu toate consecințele negative ce decurg din aceasta. Rezultă că granulozitatea substratului trebuie astfel aleasă încât să asigure drenarea rapidă a apelor ce ajung în el dar în același timp să poată fi capabil să blocheze migrarea particulelor fine din terasament ce sînt puse în mișcare de curenții hidrodinamici la limite de separație terasament-substrat. Intre granulozitatea grosieră cerută de condiția de drenare și cea mai fină cerută de condiția de prevenire a colmatării trebuie să existe o limită optimă, aspect ce se studiază de autor în paragraful următor.

3.2. STUDIUL SUBSTRATULUI CĂII CA FILTRU INVERS

3.2.1. Studii teoretice asupra funcției de filtru invers

Privită sub aspect calitativ, această funcție conferă substratului fiabilitate, care împreună cu a celorlalte elemente ale căii, contribuie la siguranța în exploatare a întregii căi. Din această cauză, autorul apreciază rolul de filtru invers, care condiționează durabilitatea și funcționalitatea în timp, ca primordial datorită faptului că un substrat oricît ar răspunde de bine restului de funcții, dacă nu are capacitatea de a se autoconserve în timp, iese rapid din serviciu și odată cu aceasta fi sînt anihilate toate calitățile.

Studiind modul de comportare și conservare a substratului pe

diverse trosoane de cale 106 , autorul a observat că în condiții de trafic destul de asemănătoare, substratul s-a comportat diferit, pe unele zone materialul din care a fost executat prezentându-se curat, fără inoluțiuni străine, după mulți ani de serviciu. Pe alte zone însă, el se prezintă puternic colmatat cu materiale fine provenite din terasament, în aceste cazuri fiind imposibil (de multe ori) de stabilit o limită de separație între terasament și substrat. Singura explicație logică a comportamentului diferit în condiții hidrometeorologice și de trafic destul de apropiate, este că pot exista anumite corelații între caracteristicile terasamentului și cele ale substratului în limitele cărora migrarea particulelor antrenate hidrodinamic în substrat este blocată. Din cercetările autorului [106] și a altor cercetători [56], a rezultat că nu este posibilă utilizarea regulei filtrelor inverse al lui Terzaghi [19] în cazul căii ferate.

Regula a fost stabilită de Terzaghi în anul 1921 pe baze empirice, ipotezele avute în vedere fiind următoarele:

- curgerea apei este laminară, uniformă și staționară;
- apa are viteză de curgere mică.

Pe baze încercărilor, Terzaghi a stabilit condițiile pe care trebuie să le îndeplinească stratul din nisip care protejează un pământ prin care se drenează apa, astfel încât să aibă loc reducerea forței curentului precum și prevenirea antrenării particulelor fine din pământul protejat.

Condiția care impune ca granulele filtrului să fie suficient de mari, astfel încât să permită o micșorare corespunzătoare a forței curentului, este exprimată prin relația (3.4) [74]:

$$d_{15f} > (4...5) d_{15} \quad (3.4)$$

iar condiția care stabilizește dimensiunea maximă a granulelor din filtru în vederea prevenirii antrenării particulelor din pământul protejat are forma:

$$d_{15f} < (4...5) d_{85} \quad (3.5)$$

în care:

- d_{15f} reprezintă diametrul corespunzător procentului 15 de pe curba granulometrică a filtrului;
- d_{15} - diametrul corespunzător procentului 15 de pe curba granulometrică a pământului de protejat;
- d_{85} - diametrul corespunzător procentului 85 de pe curba granulometrică a pământului de protejat.

Se mai urmărește ca uniformitatea filtrului și a pământului de protejat să fie asemănătoare, ceea ce înseamnă înclinări apropiate ale curbelor de granulozitate.

Determinarea acestor rapoarte de către autor în cazul unor substraturi care s-au comportat corespunzător o perioadă îndelungată de serviciu în oale [106] a demonstrat că aceste rapoarte au valori diferite de cele stabilite de Terzaghi. De asemenea, valorile respective sînt mult diferite și de cele stabilite de alți autori sau unități de cercetare ca de exemplu: Bertram în anul 1939, Newton și Hurley (1940), United States Waterways Experimental Station (1941, 1948 și 1953), United States Bureau of Reclamation (1974), United States Corps of Engineers Manual (1955) și Cedergren (1967) [164].

Au fost studiate și normele ce se impun drenurilor de la barajele din pământ [173] pentru a le asigura stabilitatea în timp și funcționarea normală, la care se recomandă utilizarea unor materiale cu granulozitate continuă din balastiere. Pornindu-se de la granulozitatea terasamentului, se stabilesc condițiile pentru primul strat filtrant, pentru următoarele aplicîndu-se aceleași norme, elementele de plecare fiind cele proprii stratului anterior. Conform metodologiei respective [173], pentru prevenirea colmatării se recomandă ca între granulozitatea terenului și cea a primului strat filtrant să existe corelația:

$$\frac{d_{15f}}{d_{85}} \leq 5 \quad (3.6)$$

Dacă terenul de bază este constituit din argile plastice (peste 40% argilă) se înlocuiește acest criteriu cu relația:

$$d_{15f} > 0,4 \text{ mm} \quad (3.7)$$

iar:

$$U_{nf} = \frac{d_{60f}}{d_{10f}} < 20 \quad (3.8)$$

în care:

U_{nf} este gradul de uniformitate al materialului din filtru.

Pentru asigurarea scurgerii, se pune condiția:

$$5 < \frac{d_{15f}}{d_{15}} < 40 \quad (3.9)$$

În plus, este necesar ca filtrul să conțină maximum 5% părți fine (sub 0,05 mm) iar granula maximă să fie 70 mm.

În același normativ [173] se mai recomandă de asemenea asigurarea paralelismului între curba granulometrică a terenului și respectiv a filtrului, condiție exprimată de relația:

$$12 < \frac{d_{50f}}{d_{50}} < 58 \quad (3.10)$$

Criteriul care pune condiția prevenirii colmatării drenului și care implicit asigură stabilitatea acestuia, este de bază la proiectarea acestuia și ea trebuie respectată ferm. Criteriul care impune asigurarea scurgerii, experimentă limitele între care poate să varieze raportul coeficienților de permeabilitate, astfel încât scurgerea să se facă în condiții normale. Limite inferioară corespunde cu raportul minim de 25 și cea superioară cu raportul maxim de 1.500.

Ca și în cazul celorlalte metode de proiectare a filtrelor inverse, și aici dimensionarea se face de preferință grafic, prin reprezentarea curbelor granulometrice, pornind de la terenul de bază.

Problema filtrelor inverse mai comportă încă numeroase discuții, dovadă fiind numeroasele cercetări ce se fac și în prezent [3], [63], [70], [164].

Autorul consideră că principalul motiv pentru care cele prezentate anterior [19], [56], [106], [164], [173] nu au aplicabilitate în cazul substratului căii, este că fenomenele ce au loc în substrat sînt mult diferite față de cele ce apar în cazul filtrării libere a apei prin medii poroase, și anume, sînt cu mult mai dure. De aceea, autorul și-a propus ca în același mod în care au fost stabilite diferitele relații pentru filtrele inverse, respectiv pe baze experimentale, să studieze și să stabilească criteriile de proiectare pentru substrat sub aspectul funcției de filtru invers.

Intr-adevăr, așa cum s-a prezentat în paragraful 3.1, condițiile de lucru ale substratului căii sînt total diferite față de cele ale filtrelor inverse, și aceasta datorită în primul rînd puternicelor fenomene hidrodinamice ce sînt produse de circulația materialului rulant. Acesta este și motivul pentru care este imposibilă modelarea matematică a curgerii soluției de apă cu particule fine de pămînt prin una din metodele recomandate de literatura de specialitate [26], [69], [141]. Condițiile în care circulă soluția respectivă sînt următoarele:

- curgerea este turbulentă, neuniformă;
- sensul de deplasare este dublu, adică de la terasament la substrat dar și de la substrat la terasament, funcție de sensul de deplasare pe verticală al traversei în lășătura oarbă (la tasarea traversei apa este forțată să circule din substrat spre terasament, pe oînd la revenirea traversei în poziția inițială și săltarea ei deasupra acestei poziții, apa este absorbită din zona feței superioare a tera-

samentului spre substrat);

- viteza de scurgere este mult accelerată de efectul de pompă cauzat de deplasarea pe verticală a traversei. În acest sistem de forțare a deplasării apei, traversa joacă rolul pistonului iar lăsaștura oarbă pe cea a cilindrului pompei;

- soluția prezintă în suspensie foarte multe particule fine din pământ smulse de pe fața superioară a terasamentului.

Față de condițiile în care are loc filtrarea liberă prin pământuri, este de așteptat ca relațiile de calcul și proiectare a filtrului invers să nu mai poată fi aplicate în cazul substratului.

Necesitatea unor criterii și relații de calcul și de proiectare a substratului sub aspectul rolului de filtru invers este cu atât mai acută cu cât această funcție este cea care conferă substratului autoconservarea pe întreaga perioadă de serviciu. În condițiile în care indicatorul sintetic al căii, siguranța circulației, este afectat și de calitatea substratului căii, criteriile de calcul și proiectare a filtrului invers pentru substrat erau solicitate de mult timp de către organele de proiectare, execuție și întreținere feroviare. Caracteristicile constructive ale substratului determină de asemenea fluenta și capacitatea traficului, prețul de cost al investițiilor și întreținerii, cu repercursiuni directe asupra costurilor transporturilor, aspecte relevate cu pregnanță cu ocazia analizei critice a situației substratului căii pe raza Regionalei de Căi Ferate Galați prezentată în capitolul 2.

În vederea determinării caracteristicilor substratului astfel încât să-și îndeplinească în cele mai bune condiții rolul de filtru invers între terasament și prisma căii, autorul a ales metoda experimentală direct în cale. Acest mod de abordare a problemei a fost impus de complexitatea fenomenelor ce au loc în substrat în prezența apei și sub circulația materialului rulant, complexitate ce face imposibilă modelarea fenomenelor respective. Pentru cercetările experimentale s-au pus în balanță avantajele și dezavantajele cercetărilor de laborator sau în situ pentru cazul de față, rezultând că cele de teren sînt cele mai indicate.

Ca principale avantaje ale studiilor de laborator prin folosirea pulsatorului, se menționează:

- controlul strict al parametrilor în timpul încercărilor;
- accelerarea producerii fenomenelor;
- variația parametrilor încercărilor în sensul cerut de evoluția cercetărilor;
- urmărirea etapă cu etapă a cercetărilor;

- comoditatea cercetărilor.

Pentru cazul de față, lucrul în laborator prezintă și unele dezavantaje, ca de exemplu:

- costul ridicat al cercetărilor ca urmare a efectuării unui număr foarte mare de ore-pulsator. De exemplu, pentru a simula un trafic de 60 milioane de tone, respectiv 80 trenuri în timp de 24 ore de-a lungul unui an, fiecare tren având câte 50 vagoane pe două osii, la o viteză de circulație de 100 km/h, ceea ce corespunde la un număr de 6 cicluri încercare-decșărcare pe secundă, este necesară circa o lună de încercări folosind un pulsator având frecvența de lucru de 400 cicluri pe minut;

- perioada deosebit de lungă cerută de desfășurarea cercetării. Dacă un trafic de 60 milioane de tone pe an este simulat în circa o lună, ținând cont și de faptul că se cere studierea unui număr mare de combinații sub aspect granulometric al ansamblului terasament-substrat rezultă că numai pentru 12 asemenea rețete ar trebui afectat un pulsator un întreg an, consumul de energie electrică fiind considerabil;

- lucrul pe model, oricât ar fi de apropiat de cel la scară și condițiile naturale, nu poate fi identic cu acesta, unele aspecte nefiind prinse la adevărații parametri cantitativi și calitativi, redarea lor fiind deosebit de costisitoare sau chiar imposibilă. De exemplu, influența și mai ales variația în timp a elementelor hidrometeorologice este imposibil de realizat în condiții mulțumitoare în laborator.

Din aceste considerente și având în vedere condițiile de lucru avute de autor, s-a preferat metoda in situ, metodă ale cărei principale avantaje sînt:

- lucrul la scară 1:1 a situației reale din cale, fiind excluse astfel erorile produse prin modelare;

- reducerea cheltuielilor de cercetare prin eliminarea încercărilor de laborator ce folosesc aparatură scumpă și energofagă;

- cuprinderea tuturor elementelor variabile care ar putea influența comportarea substratului, ca de exemplu: tipul profilului transversal, forma de relief, natura pămîntului din terasament, condiții meteorologice și hidrologice, trafic, alcătuirea suprastructurii etc;

- scurtarea considerabilă a cercetărilor deoarece se trag concluzii asupra unor fenomene ce au avut deja loc, fără să se mai aștepte producerea lor. Condițiile esențiale ale evoluției lor care interesează cercetarea, respectiv compoziții granulometrice, trafic, perioadă de serviciu și altele, pot fi ușor determinate. Aici nu interesează în mod special evoluția în timp a fenomenului, ci numai rezultatul

final, și anume dacă substratul a fost sau nu corespunzător ales din punct de vedere granulometric.

Astfel, din studiile teoretice efectuate, au rezultat concluziile cu privire la funcția substratului ca filtru invers, precum și necesitatea studierii acestuia prin încercări de teren, în vederea stabilirii criteriilor de calcul și proiectare a acestuia.

3.2.2. Studii de teren cu privire la funcția substratului ca filtru invers

Acceptându-se ca mod de lucru studiul in situ, a fost cercetat un număr mare de tronsoane de cale prevăzute cu substrat (la data executării lor, în lipsa normelor de proiectare a substratului, singurul criteriu pentru alegerea materialului din substrat l-a constituit apropierea surselor de material granular) pe baza analizei statistice a caracteristicilor materialelor de pe tronsoanele care s-au comportat foarte bine, rezultând corelația optimă între granulozitatea pământurilor din terasament și a celor din substrat, aspecte ce se vor prezenta în cele ce urmează.

3.2.2.1. Metodologia de cercetare folosită pentru studiul substratului ca filtru invers

În vederea cuprinderii în aria cercetării a tuturor aspectelor care influențează în mod direct comportarea substratului, la stabilirea sectoarelor s-a urmărit scoperirea în întregime a factorilor variabili din rețeaua CFR referitor la:

- condiții de trafic (viteză de circulație, tonaj);
- factori hidrometeorologici;
- condiții de întreținere;
- natura rocii din terasament;
- natura rocii din substrat.

În prealabil s-a făcut o selecție a sectoarelor pe care s-a intenționat a se face cercetări, cu scopul de a cuprinde în studii numai acele zone în care substratul avea o perioadă îndelungată de serviciu pentru a se putea trage concluzii valabile asupra comportării sale în timp. Din acest punct de vedere au fost reținute sectoarele de pe linii magistrale, cu o vechime minimă de 8 ani și pe care traficul total scurs a fost de minimum 7 milioane tone brute.

Tot cu această ocazie s-a avut în vedere să fie luate în considerare toate tipurile constructive pentru suprastructura și infrastructura căii, respectiv:

- tipul profilului transversal;
- tipul șinei;
- tipul traversei;
- alcătuirea căii de rulare (cu sau fără joante);
- poza căii.

Studiile de teren în cazul fiecărui sector s-au desfășurat în următoarele etape:

1. - constatarea situației locale. În această fază au fost eliminate cazurile în care comportarea substratului a fost influențată de anumite condiții locale care i-ar fi putut afecta funcție de filtru invers. Totodată au fost excluse din aria cercetărilor toate secțiunile pe care s-au observat în sondajele executate între traverse (fig. 2.1) discontinuități sau denivelări pronunțate ale pantelor de scurgere de pe fața superioară a terasamentelor, cele executate din pământuri foarte sensibile la îngheț (după criteriul lui Cassagrande) și care nu au avut asigurată protecția termică corespunzătoare. Nu s-au luat în considerare nici zonele pe care la limita de separare substrat-terasament au apărut deranjamente cu ocazia lucrărilor de întreținere (buraje, ciuruirii);

2. - stabilirea indicelui de calitate a substratului din sondajele respective. Grație lui a fost posibilă determinarea modului în care substratul s-a comportat ca filtru invers, blocând ascensiunea particulelor fine din terasament în substrat. Acesta a fost de fapt și criteriul ales pentru atribuirea indicelui de calitate, și anume, înălțimea pe care elementele fine ale pământurilor din terasamente au migrat în substrat. Această înălțime a fost determinată prin măsurători directe, ca urmare a faptului că ea este delimitată la partea inferioară de limita de separație dintre terasament și substrat, iar la partea superioară de materialul granular curat, fără particule fine din substrat. Înălțimea pe care substratul este colmatat cu material fine provenit prin antrenarea hidrodinamică din terasament este ușor sesizabilă ca urmare a schimbării culorii materialului din substrat, fiind posibilă măsurarea ei cu precizia de 1 mm (fig. 3.9).

Având în vedere efectele pe care le are asupra comportării substratului înălțimea pe care a avut loc colmatarea, respectiv la o înălțime redusă comportarea este mai bună, autorul a stabilit următoarele limite între care s-a apreciat calitatea substratului de a

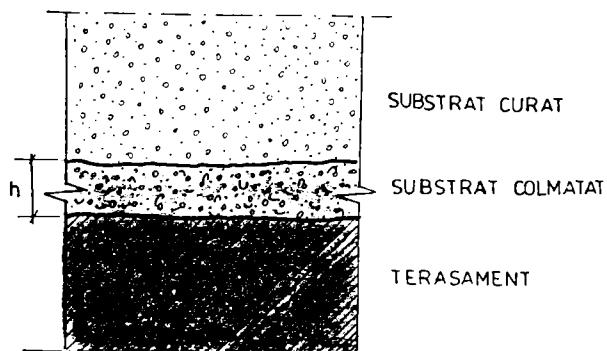


Fig. 3.9. Stabilirea înălțimii de migrare h a particulelor fine din terasament în substrat.

studiate aveau peste 8 ani vechime și cu trafic scurs de peste 7 milioane tone brute, valorile măsurate pentru înălțimea de migrare sînt valori definitive, deoarece în condițiile menționate procesul de migrare se poate considera stabilizat.

La fel ca și etapa anterioară, și aceasta a fost eliminatorie, în sensul că după efectuarea analizelor de laborator la mai multe sondeaje cu substrat apreciat ca satisfăcător și în special rău, observîndu-se o foarte mare împrăștiere a rezultatelor, cînd s-au mai întîlnit asemenea sectoare, nu s-au mai continuat investigațiile;

3. - efectuarea penetrărilor statice în terasament. Rezultatele acestor determinări, prelucrate în paragraful 3.4, au avut în această fază rolul de a indica în mod orientativ calitatea terasamentului, în sensul că atunci cînd s-a constatat că penetrările indică o portanță prea redusă a terasamentului, s-a renunțat la sectorul respectiv în ideea că această portanță redusă ar putea afecta modul de lucru al substratului sub influența factorilor hidrodinamici produși de trafic;

4. - prelevarea de probe tulburate din terasamente și substraturi. Ele au fost astfel prelevate, încît să redea cît mai fidel caracteristicile de bază ale materialelor utilizate. În cazul substratului, probele au fost prelevate din mijlocul strățului iar probele din terasament au fost prelevate din fundul săpăturilor. Pentru substratul executat în sistem binar (nisip la bază și balast la partea superioară), probele au fost prelevate din ambele straturi

- foarte bun, pentru migrări pe înălțimi h sub 15 mm;
- bun, pentru înălțimi de migrare h cuprinse între 15 și 25 mm;
- satisfăcător, pentru înălțimi de migrare h cuprinse între 25 și 50 mm;
- rău, pentru migrări pe înălțimi h mai mari de 50 mm, ajungîndu-se pînă la colmatarea totală a substratului.

Tinînd cont de faptul că substraturile

constituente. Eșantioanele au fost păstrate în pungi din material plastic și transportate imediat la laborator, astfel că timpul cuprins între prelevarea probelor și introducerea lor în lucru la laborator n-a depășit 24 ore;

5. - culegerea datelor de teren specifice în ceea ce privește infrastructura și suprastructura oăii respective, și anume:

- grosimea substratului (a stratului din material granular sau a celor două straturi granulare în cazul alocăturii binare);
- cota terasamentului (măsurată de la nivelul superior al traversei);

- starea de umiditate din zona de contact terasament-substrat. Umiditatea normală s-a considerat în cazul în care nu s-a observat apă în stare liberă, sondajele efectuându-se în perioada aprilie-august 1973 și la minimum 5 zile după ultima ploaie. Când s-a constatat prezența apei libere, umiditatea s-a apreciat ca mărită;

6. - analiza arhivelor unităților de întreținere și exploatare cu privire la observații la fața locului, de unde s-au reținut:

- tipul profilului transversal în punctele în care s-au efectuat sondajele;

- alocuirea suprastructurii;

- gradul de colmatare al prismei oăii;

- viteza de circulație maximă admisă;

- alte elemente specifice sectorului respectiv, ca de exemplu: condiții specifice de trafic, situația stabilității și portanței terasamentului.

Pentru fiecare sector de cale ales pentru studiu, s-au făcut câte trei sondaje deschise între traverse de tipul celor practicate în cazul analizei situației substratului pe raza Regionalei de Căi Ferate Galați (fig. 2.1), sondaje amplasate la 50 m distanță unul de altul, cu scopul prevenirii apariției unor cazuri particulare care ar fi dus la vicierea rezultatelor finale. În studii au fost luate în considerare valorile medii, valorile individuale pentru fiecare sondaj (studii de teren și analize de laborator) diferind foarte puțin, fiind practic identice pentru fiecare grup a câte trei probe prelevate pe o distanță de 100 m de pe tronsonul respectiv de cale.

3.2.2.2. Datele culese de pe amplasamentele studiate

Din cele circa 120 sondaje efectuate pe întreaga rețea de linii CFR, au fost reținute pentru continuarea studiului doar 34. Ele au fost selecționate în primul rând datorită faptului că migrarea

particulelor fine din terasament în substrat nu a depășit 25 mm, deci calitatea substratului în aceste zone a fost bună și foarte bună. În plus, pe aceste sectoare s-au observat și alte elemente ale substratului și terasamentului care vor fi utile pentru studiul și sub alte aspecte a substratului (grosime redusă, terasamente de bună calitate, substrat realizat în sistem binar). Tronsoanele care au fost eliminate din studiu prezintă în primul rând substrat necorespunzător, cu înălțimi de migrare de peste 25 mm, precum și alte defecte de infrastructură (terasamente instabile, pante cu discontinuități și denivelări mari, sisteme de drenare și evacuare a apelor din zona platformei necorespunzătoare etc.).

S-a acceptat ca metodă de studiu analiza sectoarelor cu substrat bun și foarte bun deoarece scopul final al cercetărilor este stabilirea unor norme pentru determinarea granulozității substratului astfel încât el să se comporte corespunzător ca filtru invers, domeniul de valabilitate al acestor norme fiind mult mai util și mai ușor de definit decât dacă de exemplu s-ar fi intenționat stabilirea limitelor între care substratul poate fi necorespunzător. Justețea acestui raționament a fost demonstrată de mersul ulterior al cercetărilor, în sensul că analizele de laborator asupra granulozității terasamentelor și substraturilor au arătat o anumită grupare a rezultatelor în cazul substraturilor bune și foarte bune, pe când în cazul celor satisfăcătoare și rele, împrăștierea rezultatelor este foarte mare, fără nici-o regulă.

În baza acestor ipoteze, s-a făcut întabularea elementelor caracteristice necesare studiului pentru cele 34 sectoare selecționate (tabelul 3.1). Ordonarea și gruparea sondajelor s-a făcut funcție de plasticitatea și granulozitatea pământurilor din terasamente, începând cu argila (conform STAS 1243-83). Pe lângă cele 34 sectoare cu substrat bun și foarte bun, în tabel au fost incluse și 4 tronsoane cu substrat necorespunzător pentru a se evidenția aria largă de împrăștiere a caracteristicilor materialelor folosite (pentru aceste 4 sectoare, spre deosebire de celelalte necorespunzătoare la care cercetările s-au sistat în majoritatea cazurilor când s-a observat în sondaj gradul înalt de colmatare al substratului cu material antrenat din terasament, s-au efectuat și determinările de laborator precum și interpretarea rezultatelor).

Pentru fiecare sondaj întabulat s-au cules de la fața locului toate elementele care s-au considerat a fi necesare pentru desfășurarea ulterioară a cercetărilor. Identificarea fiecărui sondaj s-a făcut prin linia pe care a fost executat și prin kilometraj (acesta

corespunde sondeajului din mijloc din cele trei executate pentru fiecare amplasament). Dintre caracteristicile substratului s-a reținut în primul rând înălțimea de migrare a particulelor fine din terasament pe baza căreia s-a determinat indicoele de calitate, criteriu eliminatoriu pentru includerea sau excluderea sectorului respectiv în studiu. De asemenea, pentru fiecare sondeaj s-au consemnat natura mineralogică a materialului din substrat precum și grosimea lui. Pentru terasamente s-au reținut natura mineralogică (verificată ulterior și pe baza analizelor de laborator) și cota la care se află față de nivelul superior al traversei. Se menționează faptul că pentru toate valorile măsurate (înălțime de migrare, grosime substrat, cotă terasament) s-a întabulat media măsurărilor din fiecare sondeaj. Pe lângă elementele definitorii pentru substrat și terasament, cu ocazia culegerii datelor de teren, s-au mai adunat și date generale referitoare la cale (tipul profilului transversal, viteza maximă de circulație pe sectorul respectiv, starea de umiditate din zona de contact terasament-substrat, gradul de colmatare al prismeii căii, tipul traversei informații referitoare la natura traficului, starea pantelor de scurgere a apelor, gradul de întreținere etc.).

3.2.3. Cîteva studii de laborator cu privire la funcția substratului ca filtru invers

Probele prelevate tulburat din terasament și substrat s-au supus în maximum 24 de ore de la recoltare analizelor de laborator. Analizele efectuate au avut ca scop determinarea caracteristicilor materialelor din terasament și substrat de pe sectoarele care s-au comportat bine și foarte bine, caracteristici care preluate ulterior să permită tragerea unor concluzii cu caracter general, pe baza cărora să poată fi posibilă stabilirea elementelor substratului pornindu-se de la cele ale terasamentului, substrat care să fie fiabil și durabil.

3.2.3.1. Metodologia de cercetare folosită în laborator

Așa după cum a rezultat din studiile teoretice asupra funcției de filtru invers, este necesar ca între granulozitatea filtrului și cea a substratului protejat să existe o anumită corelație și numai una, pentru ca sistemul respectiv să fie durabil și eficient.

CENTRALIZATOR DATE TEREN FOLOSITE LA STUDIUL SUBSTRATULUI CA FILTRU INVERS

NR. SONDAJ	LINIA C.F.R.	KM	INDICE DE CALITATE AL SUBSTRATULUI	INALTIMEA DE MIGRARE A PARTICULELOR FINE IN SUBSTRAT [mm]	PROFIL TRANSVERSAL TIP	VITEZA MAXIMA DE CIRCULATIE [km/h]
1	II București - Pitesti	48 + 810	f. bun	13	rambleu	120
2	II București - Pitesti	36 + 015	bun	21	rambleu	100
3	II Buzău - Adjud	152 + 220	f. bun	13	rambleu	100
4	Adjud - Ciceu	68 + 030	bun	19	rambleu	80
5	I Ploiești - Buzău	94 + 725	f. bun	10	debleu	80
6	I Adjud - Bacau	246 + 40	bun	17	debleu	120
7	I Roșiori - Caracal	131 + 550	f. bun	11	debleu	120
8	II Roșiori - Caracal	131 + 550	bun	20	debleu	120
9	Făurei - Tecuci	33 + 125	f. bun	12	debleu	90
10	I Brăila - Galați	251 + 060	bun	21	rambleu	120
11	II Brăila - Galați	251 + 060	f. bun	11	rambleu	120
12	Făurei - Tecuci	14 + 515	f. bun	9	rambleu	80
13	II Făurei - Brăila	169 + 530	f. bun	12	rambleu	120
14	I Făurei - Brăila	172 + 610	f. bun	12	rambleu	120
15	II Videle - Roșiori	52 + 120	f. bun	8	debleu	100
16	I Videle - Roșiori	54 + 815	bun	17	rambleu	100
17	II Videle - Roșiori	59 + 170	bun	19	rambleu	100
18	I București - Videle	32 + 025	f. bun	8	debleu	120
19	II București - Videle	34 + 615	bun	16	0	120
20	II Brăila - Galați	241 + 070	f. bun	8	rambleu	100
21	II Buzău - Adjud	132 + 320	bun	21	debleu	120
22	I Buzău - Adjud	138 + 010	bun	16	0	90
23	Urziceni - Făurei	74 + 185	f. bun	12	rambleu	120
24	Adjud - Ciceu	26 + 150	f. bun	7	0	80
25	II Ploiești - Buzău	113 + 910	bun	18	rambleu	120
26	I Buzău - Adjud	221 + 780	f. bun	10	rambleu	120
27	Adjud - Ciceu	28 + 040	bun	20	debleu	90
28	I București - Pitesti	73 + 540	bun	16	rambleu	120
29	II București - Pitesti	73 + 540	bun	15	rambleu	100
30	II București - Pitesti	88 + 080	bun	16	rambleu	80
31	II Buzău - Adjud	235 + 570	bun	22	rambleu	120
32	I Buzău - Adjud	235 + 070	f. bun	11	rambleu	120
33	I Braila - Galați	258 + 160	bun	20	rambleu	100
34	II Buzău - Adjud	231 + 445	bun	19	0	120

I	I București - Videle	24 + 540	satisfăcător	45	rambleu	120
II	II București - Pitesti	49 + 315	satisfăcător	29	rambleu	120
III	Urziceni - Târnăveni	115 + 985	rau	380	rambleu	100
IV	II Braila - Galați	256 + 390	rau	70	mixt	120

**CENTRALIZATOR DATE TEREN FOLOSITE LA STUDIUL
SUBSTRATULUI CA FILTRU INVERS**

NR. SONDAJ	NATURA ROCA		GROSIME SUBSTRAT [cm]	COTA TERA- SAMENTU- LUI (de la NST)[cm]	STAREA DE UMIDI- TATE IN ZONA	STAREA PRISMEI CALII	TIP TRAVESSA
	TERASAMENT	SUBSTRAT					
0	7	8	9	10	11	12	13
1.	Argilă	nisip	21	76	normală	colmatată	lemn
2.	Argilă	balast+nisip	12+10	62	normală	colmatată	lemn
3.	Argilă	nisip	19	71	mărită	curată	beton
4.	Argilă	balast+nisip	20+11	85	normală	curată	beton
5.	Argilă	nisip	24	79	redușă	puțin colmatată	beton
6.	Argilă	nisip	26	81	normală	colmatată	beton
7.	Argilă prăfoasă	nisip	12,5	61	normală	puțin colmatată	lemn
8.	Argilă prăfoasă	balast + nisip	15+6	69	normală	puțin colmatată	lemn
9.	Argilă prăfoasă	nisip	31	80	normală	colmatată	lemn
10.	Argilă prăfoasă	nisip	17	64	normală	colmatată	lemn
11.	Argilă prăfoasă	nisip	23,5	77	normală	puțin colmatată	lemn
12.	Argilă prăfoasă	nisip	14	74	redușă	colmatată	lemn
13.	Argilă prăfoasă	cenușă locomotivă	21	65	normală	puțin colmatată	lemn
14.	Argilă prăfoasă	balast+nisip	16+11	86	normală	puțin colmatată	lemn
15.	Argilă prăfoasă	nisip	19	68	normală	puțin colmatată	beton
16.	Argilă prăfoasă	nisip	24	76	normală	curată	beton
17.	Argilă prăfoasă	nisip	26,5	68	marită	puțin colmatată	beton
18.	Argilă prăfoasă	nisip	22	78	normală	colmatată	lemn
19.	Argilă prăfoasă	nisip	18,5	64	normală	colmatată	lemn
20.	Argilă prăfoasă	nisip	31	80	redușă	puțin colmatată	lemn
21.	Argilă prăfoasă	nisip	23	81	mărită	curată	beton
22.	Argilă prăfoasă	nisip	33	87	normală	puțin colmatată	beton
23.	Argilă prăfoasă	nisip	28	82	normală	curată	beton
24.	Argilă prăfoasă	nisip	22	75	normală	puțin colmatată	lemn
25.	Argilă prăfoasă	nisip	22	69	normală	curată	lemn
26.	Argilă prăfoasă	nisip	34	86	normală	puțin colmatată	lemn
27.	Argilă nisipoasă	nisip	30,5	88	normală	curată	lemn
28.	Praf argilos	nisip	18	82	marită	puțin colmatată	beton
29.	Praf argilos	nisip	23,5	78	normală	puțin colmatată	beton
30.	Praf argilos	nisip	28	82	normală	curată	beton
31.	Praf argilos	nisip	15,5	70	normală	puțin colmatată	lemn
32.	Praf argilos	nisip	31	87	redușă	puțin colmatată	lemn
33.	Praf argilos	nisip	19,5	68	marită	puțin colmatată	lemn
34.	Praf argilos	nisip fin	22	72	mărită	puțin colmatată	lemn

I	Argilă prăfoasă	nisip	26	102	mărită	colmatată	lemn
II	Argilă prăfoasă	nisip	17	85	mărită	f.colmatată	lemn
III	Argilă prăfoasă	balast	38	76	mărită	colmatată	beton
IV	Praf argilos	nisip fin	22	78	f.mare	colmatată	beton

**CENTRALIZATOR DATE TEREN FOLOSITE LA STUDIUL
SUBSTRATULUI CA FILTRU INVERS.**

NR. SONDAJ	O B S E R V A T I I
0	14
1.	Trafic intens cu agregate minerale
2.	Trafic intens cu agregate minerale
3.	Evacuare lentă a apelor pluviale din zona platformei căii
4.	Linie fără probleme deosebite
5.	Linie fără probleme deosebite
6.	Linie fără probleme deosebite
7.	Terasamente foarte bine întreținute
8.	Terasamente foarte bine întreținute
9.	Prisma căii slab întreținută
10.	Linie fără probleme deosebite
11.	Linie fără probleme deosebite
12.	Prisma căii slab întreținută
13.	Cenușă de locomotivă puțin poroasă
14.	Linie fără probleme deosebite
15.	Linie fără probleme deosebite
16.	Linie fără probleme deosebite
17.	Pantele de scurgere cu discontinuități
18.	Trafic intens cu agregate minerale
19.	Trafic intens cu agregate minerale
20.	Linie fără probleme deosebite
21.	Pantele de scurgere cu discontinuități
22.	Linie fără probleme deosebite
23.	Linie fără probleme deosebite
24.	Evacuare lentă a apelor pluviale
25.	Linie fără probleme deosebite
26.	Linie fără probleme deosebite
27.	Evacuare lentă a apelor pluviale
28.	Terasament slab întreținut. Panta de scurgere parțial deformată.
29.	Terasament slab întreținut. Panta de scurgere parțial deformată.
30.	Linie fără probleme deosebite
31.	Linie fără probleme deosebite
32.	Linie fără probleme deosebite
33.	Pantele de scurgere cu discontinuități
34.	Linie fără probleme deosebite

I	Trafic intens cu agregate minerale
II	Trafic intens cu agregate minerale
III	Linie fără probleme deosebite
IV	Linie fără probleme deosebite

De aceea, și în cazul funcției de filtru invers a substratului autorul a adoptat ca mod de legătură între caracteristicile sub-
tului și cele ale terasamentului tot corelația dintre curbele g-
nulo-metrice ale materialelor respective. De asemenea, relațiile
legătură ale acestor granulozități le-a preluat sub aceeași for-
mă urmînd ca pe baza acestor studii să rezulte valoarea rapoartelor
proprii substratului. Din aceste considerente, prin analizele de
laborator s-au determinat:

- curbele granulometrice ale pămînturilor din terasamente;
- curbele granulometrice ale materialelor granulare din sub-
- limitele lui Atteberg pentru pămînturile din terasamente (determinări efectuate în special pentru caracterizarea completă a pămînturilor din terasamente).

Aparatura și metodele folosite pentru efectuarea acestor determinări sînt aceleași cu cele prezentate în paragraful 2.2.3. și de aceea nu se mai reveni asupra lor.

După efectuarea analizelor de laborator și trasarea curbelor granulometrice, funcție de proporția argilă-praf-nisip aferentă
cărui pămînt din terasament, s-a stabilit tipul de pămînt utilizat la executarea terasamentelor luate în studiu. Tot din curbele granulometrice respective s-a stabilit pe baza criteriului lui Casagari de sensibilitatea la îngheț a pămînturilor din terasamente precum:

- d_{15t} - diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 15% curba granulometrică a terasamentului;
- d_{50t} - diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 50% curba granulometrică a terasamentului;
- d_{85t} - diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 85% curba granulometrică a terasamentului;
- d_{15s} - diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 15% curba granulometrică a substratului;
- d_{50s} - diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 50% curba granulometrică a substratului.

3.2.3.2. Datele obținute prin analizele de laborator

Rezultatele determinărilor de laborator aferente fiecărui s-a dat au fost intabulate (tabelul 3.2), respectîndu-se ordinea stabilită în tabelul 3.1, începîndu-se cu terasamentele constituite din argilă și continuînd cu cele executate din argilă prăfoasă, argilă nisipoasă și praf argilos. Pentru evidențierea mai pregnantă a

racteristicilor materialelor componente, s-au grupat elementele aferente substratului (coloanele 3...6) și terasamentului (coloanele 7...16). În coloana 20 sînt prezentate unele mențiuni referitoare la materialul analizat în cazul substratului executat în sistem binar, respectiv stratul din nisip. Se precizează de asemenea faptul că în toate cazurile în care substratul a fost alocuit în sistem binar, nisipul a fost așezat la bază iar peste el a fost așezat stratul din balast.

Tot în această etapă s-a făcut și o primă prelucrare a datelor, în sensul că s-a determinat pentru fiecare amplasament gradul de neuniformitate pentru materialul din substrat precum și valoarea rapoartelor:

$$\frac{d_{15s}}{d_{15t}} ; \quad \frac{d_{15s}}{d_{85t}} \quad \text{și} \quad \frac{d_{50s}}{d_{50t}} ,$$

rapoarte care exprimă aceleași condiții ca și în cazul general al filtrelor inverse, respectiv:

- primul raport impune condiția de reducere a forței curentului de apă la traversarea filtrului;
- prin respectarea condiției impuse de cel de al doilea raport, se previne colmatarea filtrului cu material fin antrenat de forța curentului din stratul ce trebuie protejat;
- cel de al treilea raport exprimă condiția, recomandabilă, de paralelism a curbelor granulometrice ale filtrului și materialului ce trebuie protejat.

Autorul a adoptat și în cazul substratului aceste rapoarte, deoarece a constatat că în majoritatea covârșitoare a cazurilor ele sînt utilizate pentru a exprima corelația între filtru și stratul ce urmează a fi protejat, precum și pentru faptul că a constatat că procentele respective exprimă destul de bine materialele pentru care sînt determinate iar rapoartele alese sînt deja familiare celor ce-au avut tangență cu geotehnica.

În finalul tabelului 3.2 sînt prezentate rezultatele analizelor de laborator și pentru unele tronsoane pe care indicele de calitate al substratului a fost satisfăcător sau rău, aceleași cu cele cuprinse și în tabelul 3.1. Pentru două dintre acestea (fig. 3.10 și 3.11) și pentru cîteva cazuri cu caracter mai ridicat de generalizare, sau dimpotrivă, mai particulare, sînt prezentate curbele granulometrice pentru terasament și substrat (fig. 3.12, 3.13 și 3.14). Astfel, se prezintă cazul aceluiași terasament cu două sisteme de alocuire a substratului (fig. 3.12), substrat constituit

CENTRALIZATOR ANALIZE DE LABORATOR FOLOSITE LA STUDIUL SUBSTRATULUI CA FILTRU INVERS.

NR. SONDĂ	LINIA C. F. R.	KM	SUBSTRAT			GRAD DE NEUNFORMITATE U_s
			NATURĂ ROCA	Diametre pe fracțiuni [mm]		
				d_{15s}	d_{50s}	
0	1	2	3	4	5	6
1	I București - Pitești	48-810	nisip	0,031	3,90	38
2	II București - Pitești	36-015	balast+nisip	0,11	1,55	21
3	II Buzău - Adjud	152-220	nisip	0,053	1,10	46
4	Adjud - Ciceu	68-030	balast+nisip	0,022	1,10	208
5	I Ploiești - Buzău	91-725	nisip	0,028	0,85	64
6	I Adjud - Bacău	246-110	nisip	0,05	1,35	38
7	I Roșiori - Caracal	131-550	nisip	0,06	1,50	214
8	II Roșiori - Caracal	131-550	balast+nisip	0,025	1,40	263
9	Făurei - Tecuci	33-125	nisip	0,125	0,95	116
10	I Brăila - Galați	251-060	nisip	0,015	2,70	150
11	II Brăila - Galați	251-060	nisip	0,09	1,25	64
12	Făurei - Tecuci	14+515	nisip	0,001	1,80	36
13	II Făurei - Brăila	169+530	cenușă locom.	0,70	5,90	19
14	I Făurei - Brăila	172+610	balast+nisip	0,15	3,40	182
15	II Videle - Roșiori	52+120	nisip	0,27	3,60	72
16	I Videle - Roșiori	54+815	nisip	0,19	1,75	28
17	II Videle - Roșiori	59+070	nisip	0,20	2,90	74
18	I București - Videle	52+025	nisip	0,13	1,90	48
19	II București - Videle	34+615	nisip	0,17	2,00	42
20	II Brăila - Galați	241+070	nisip	0,03	9,00	170
21	II Buzău - Adjud	142+320	nisip	0,024	0,450	253
22	I Buzău - Adjud	138+010	nisip	0,11	0,50	32
23	Urziceni - Făurei	74+185	nisip	0,079	0,80	48
24	Adjud - Ciceu	26+560	nisip	0,13	7,00	228
25	II Ploiești - Buzău	113+310	nisip	0,067	6,75	145
26	I Buzău - Adjud	221+780	nisip	0,055	1,40	52
27	Adjud - Ciceu	28+090	nisip	0,120	13,0	92
28	I București - Pitești	73+540	nisip	0,100	11,0	114
29	II București - Pitești	73+540	nisip	0,300	6,50	52
30	II București - Pitești	88+080	nisip	0,350	3,50	64
31	II Buzău - Adjud	235+070	nisip	0,260	3,50	76
32	I Buzău - Adjud	231+070	nisip	0,250	3,25	72
33	I Brăila - Galați	258+160	nisip	0,13	8,00	134
34	II Buzău - Adjud	231+445	nisip fin	0,23	0,95	35

I	I București - Videle	24+540	nisip	0,40	6,00	50
II	II București - Pitești	49+315	nisip	0,70	6,50	33,3
III	Urziceni - Tandareii	115+985	balast	0,90	20,20	260
IV	II Brăila - Galați	256+300	nisip fin	0,36	1,40	8

CENTRALIZATOR ANALIZE DE LABORATOR FOLOSITE LA STUDIUL SUBSTRATULUI CA FILTRU INVERS.

NR. SONDAJ	T E R A S A M E N T									
	NATURA ROCA	COMPOZITIE %			DIAMETRE PE FRACTIUNI <small>(mm)</small>			LIMITE PLASTICE <small>(%)</small>		COMPORTARE LA INGHET <small>(după Cas's grande)</small>
		AR- GILA	PRAF	NISIP	d 15 t	d 50 t	d 85 t	W _c	W _p	
0	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.	Argilă	38	34	28	0,001		0,016	60,2	18,7	sensibilă
2.	Argilă	43	29	28	0,001	0,010	0,20	56,0	14,6	sensibilă
3.	Argilă	47	43	10	0,001	0,005	0,025	60,2	19,8	sensibilă
4.	Argilă	48	41	11	0,001	0,006	0,037	52,5	16,5	sensibilă
5.	Argilă	48	44	8	0,0011	0,016	0,014	64,5	20,0	sensibilă
6.	Argilă	49	45	6	0,0011	0,006	0,017	62,6	13,2	sensibilă
7.	Argilă prăfoasă	31	55	14	0,0015	0,017	0,045	42,8	12,6	f.sensibilă
8.	Argilă prăfoasă	33	53	14	0,0015	0,017	0,045	42,5	12,5	f.sensibilă
9.	Argilă prăfoasă	31	52	17	0,0012	0,011	0,063	43,0	14,4	f.sensibilă
10.	Argilă prăfoasă	31	57	12	0,0015	0,010	0,032	32,0	15,2	sensibilă
11.	Argilă prăfoasă	32	56	12	0,0013	0,007	0,046	52,1	18,6	f.sensibilă
12.	Argilă prăfoasă	32	51	17	0,0011	0,011	0,063	43,5	16,1	f.sensibilă
13.	Argilă prăfoasă	32	42	26	0,0012	0,012	0,29	53,8	19,0	f.sensibilă
14.	Argilă prăfoasă	32	48	20	0,0012	0,012	0,066	42,6	15,8	f.sensibilă
15.	Argilă prăfoasă	32	40	28	0,0019	0,019	0,14	44,0	14,6	f.sensibilă
16.	Argilă prăfoasă	33	52	15	0,0010	0,010	0,064	41,4	16,0	f.sensibilă
17.	Argilă prăfoasă	33	51	16	0,0012	0,011	0,064	41,6	15,5	f.sensibilă
18.	Argilă prăfoasă	33	49	18	0,0012	0,013	0,072	41,0	16,0	f.sensibilă
19.	Argilă prăfoasă	33	53	14	0,0016	0,015	0,056	45,6	15,2	f.sensibilă
20.	Argilă prăfoasă	34	47	19	0,001	0,014	0,073	54,0	21,5	f.sensibilă
21.	Argilă prăfoasă	34	37	29	0,0017	0,021	0,022	44,0	15,5	f.sensibilă
22.	Argilă prăfoasă	36	49	15	0,0012	0,005	0,11	48,2	16,8	f.sensibilă
23.	Argilă prăfoasă	36	50	14	0,0012	0,007	0,048	32,0	15,7	f.sensibilă
24.	Argilă prăfoasă	36	42	22	0,001	0,011	0,07	44,5	16,5	f.sensibilă
25.	Argilă prăfoasă	39	47	14	0,0019	0,017	0,043	32,5	14,0	sensibilă
26.	Argilă prăfoasă	43	48	9	0,0012	0,006	0,029	48,2	17,9	sensibilă
27.	Argilă nisipoasă	33	29	38	0,0013	0,019	0,039	45,7	18,0	f.sensibilă
28.	Praf argilos	15	58	27	0,005	0,027	0,085	37,0	20,4	f.sensibilă
29.	Praf argilos	16	55	29	0,005	0,027	0,090	37,0	20,2	f.sensibilă
30.	Praf argilos	19	55	26	0,0041	0,018	0,087	38,5	16,9	f.sensibilă
31.	Praf argilos	25	49	26	0,0031	0,017	0,082	39,7	17,2	f.sensibilă
32.	Praf argilos	27	45	28	0,0031	0,018	0,082	38,5	16,8	f.sensibilă
33.	Praf argilos	29	62	9	0,0016	0,013	0,036	31,3	17,7	f.sensibilă
34.	Praf argilos	28	43	29	0,0014	0,014	0,16	31,0	16,2	f.sensibilă

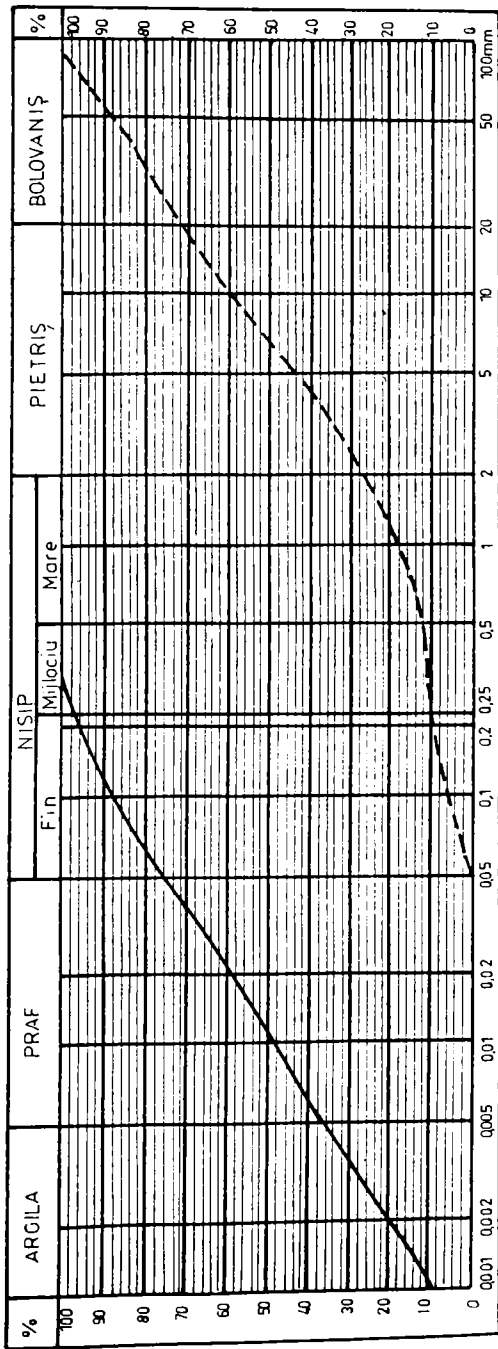
I	Argilă prăfoasă	33	51	16	0,0015	0,012	0,060	55,8	20,2	f.sensibilă
II	Argilă prăfoasă	37	39	24	0,0015	0,011	0,09	50,8	18,2	f.sensibilă
III	Argilă prăfoasă	38	45	17	0,001	0,009	0,06	37,0	16,9	f.sensibilă
IV	Praf argilos	26	67	7	0,0015	0,013	0,032	32,2	15,5	f.sensibilă

CENTRALIZATOR ANALIZE DE LABORATOR FOLOSITE LA STUDIUL SUBSTRATULUI CA FILTRU INVERS.

NR. SONDAI	RAPORTARE DIAMETRE			OBSERVAȚII
	$\frac{d_{15s}}{d_{15t}}$	$\frac{d_{15s}}{d_{85t}}$	$\frac{d_{50s}}{d_{50t}}$	
0	17	18	19	20
1	31	1,94	840	
2	140	0,70	155	Determinări efectuate pe stratul din nisip
3	53	2,12	220	
4	22	0,59	183	Determinări efectuate pe stratul din nisip
5	27	2,01	142	
6	25	2,94	225	
7	40	1,33	88	
8	165	0,55	83	Determinări efectuate pe stratul din nisip
9	104	1,98	86	
10	73	3,13	270	
11	69	1,96	178	
12	118	2,06	161	
13	412	242	490	Determinări efectuate pe cenușa de locomotivă
14	115	227	283	Determinări efectuate pe stratul din nisip
15	159	1,93	189	
16	126	2,97	175	
17	167	3,22	263	
18	109	1,81	146	
19	107	3,03	134	
20	30	2,31	640	
21	141	104	214	
22	92	2,56	83	
23	66	1,65	114	
24	120	1,86	636	
25	27	1,56	398	
26	46	1,90	234	
27	210	3,08	685	
28	20	1,18	406	
29	29	3,30	241	
30	86	4,02	195	
31	76	3,17	206	
32	81	2,72	180	
33	81	3,61	616	
34	102	144	68	

I	26,7	6,66	500	
II	466	7,8	590	
III	900	1,5	2000	
IV	240	11,3	108	

Fig.3.10. COMPOZITIA GRANULOMETRICĂ



Terosament

Modul de lucru: Metoda combinată

Data 28.06.73

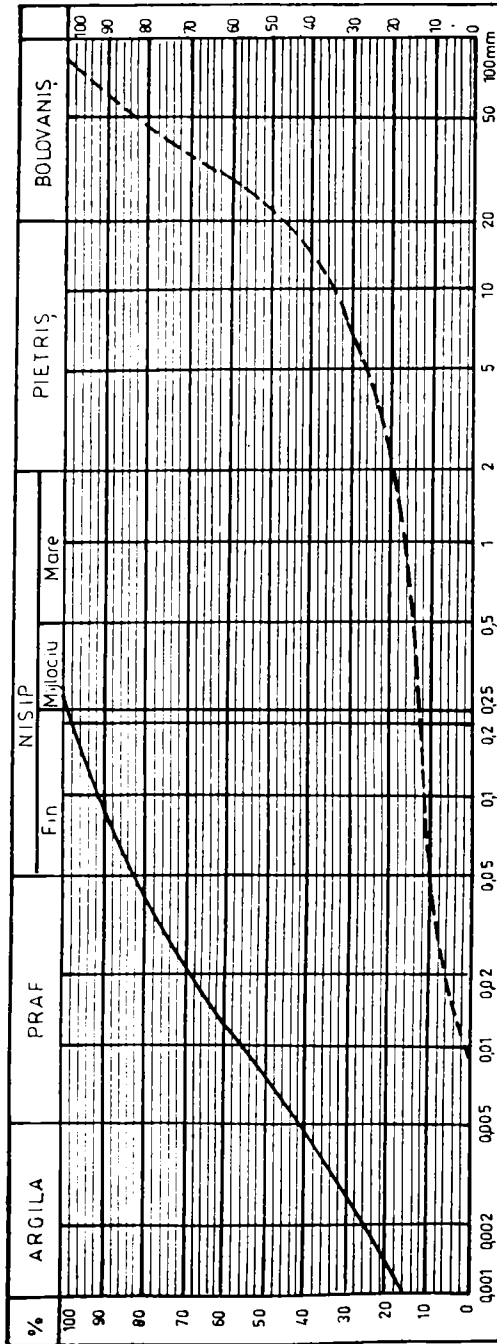
LEGENDA

— Terosament
- - - Substrat

$\phi < 0,005$ mm 37 % argilă
 $0,005 < \phi < 0,05$ mm 39 % praf
 $0,05 < \phi < 0,25$ mm 22 % nisip fin
 $0,25 < \phi < 0,50$ mm 2 % nisip mijlociu
 $0,50 < \phi < 2,00$ mm % nisip mare
 $2,00 < \phi < 20,00$ mm % pietriș
 $\phi < 20,00$ mm % bolovanish

$$U_s = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{10}{0,3} = 33,3$$

Fig.3.11. COMPOZITIA GRANULOMETRICĂ



Terasament

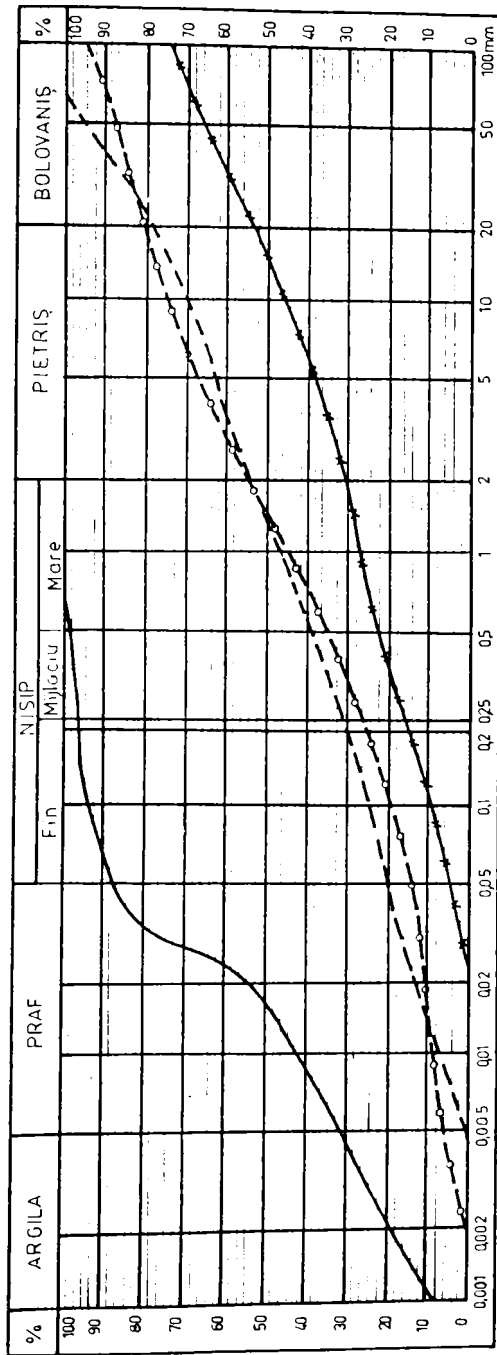
- $\phi < 0.005$ mm 38% argilă
- $0.005 < \phi < 0.05$ mm 45% praț
- $0.05 < \phi < 0.25$ mm 15% nisip fin
- $0.25 < \phi < 0.50$ mm 2% nisip mijlociu
- $0.50 < \phi < 2.00$ mm % nisip mare
- $2.00 < \phi < 20.00$ mm % pietriș
- $\phi < 20.00$ mm % bolovaniș

LEGENDA
Terasament
Substrat

Modul de lucru : Metoda combinată
Data : 09.08.73

$$U_s = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{29}{0.1} = 260$$

Fig.3.12. COMPOZITIA GRANULOMETRICA



Terasament

$d < 0.0005$ mm	33 % argilă
$0.005 < d < 0.05$ mm	53 % praful
$0.05 < d < 0.25$ mm	10 % nisip fin
$0.25 < d < 0.50$ mm	6 % nisip mijlociu
$0.50 < d < 2.00$ mm	% nisip mare
$2.00 < d < 20.00$ mm	% pietriș
$d < 20.00$ mm	% bolovaniș

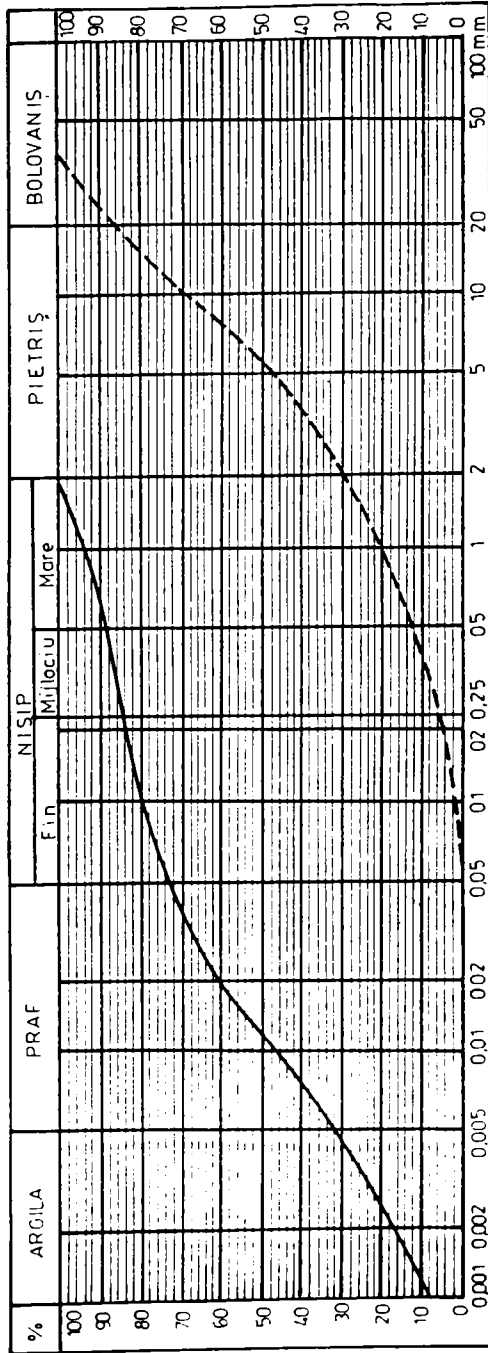
$U_{51} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{3.0}{0.074} = 214$ $U_{511} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{3.7}{0.014} = 263$

Modul de lucru Metoda combinată
 Data 20.04.73

LEGENDA

- Terasament
- Substrat linia I (nisip)
- - - Substrat nisip linia II
- x- Substrat bolovaniș linia II

Fig. 3.13. COMPOZITIA GRANULOMETRICA



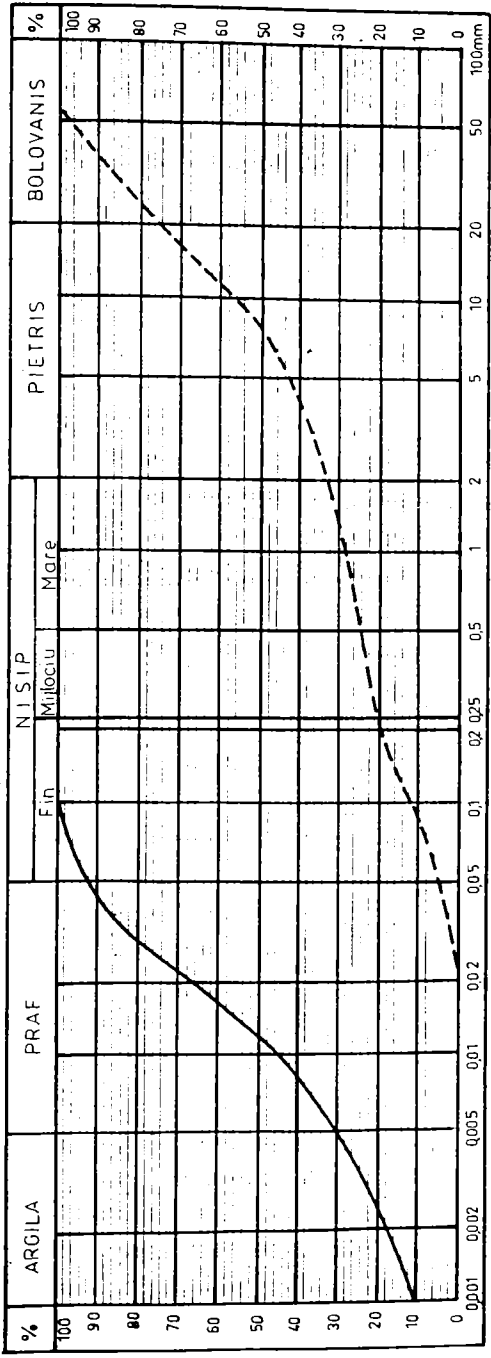
Terasament

$\emptyset < 0,005 \text{ mm} \dots 32\% \text{ argilă}$
 $0,005 < \emptyset < 0,05 \text{ mm} \dots 42\% \text{ praf}$
 $0,05 < \emptyset < 0,25 \text{ mm} \dots 10\% \text{ nisip}$
 $0,25 < \emptyset < 0,50 \text{ mm} \dots 4\% \text{ nisip mijlociu}$
 $0,50 < \emptyset < 2,00 \text{ mm} \dots 12\% \text{ nisip mare}$
 $2,00 < \emptyset < 20,00 \text{ mm} \dots \% \text{ pietriș}$
 $\emptyset < 20,00 \text{ mm} \dots \% \text{ bolovaniș}$

Modul de lucru : Metoda combinată
Data : 05.07.73

$$U_s = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{7,5}{0,4} = 19$$

Fig.3.14. COMPOZITIA GRANULOMETRICA



Terasament

- φ < 0,005 mm 29 % argilă
- 0,005 < φ < 0,05 mm 62 % praf
- 0,05 < φ < 0,25 mm 9 % nisip fin
- 0,25 < φ < 0,50 mm % nisip mijlociu
- 0,50 < φ < 2,00 mm % nisip mare
- 2,00 < φ < 20,00 mm % pietriș
- φ < 20,00 mm % bolovanis

LEGENDA

- Terasament
- - - - - Substrat

Modul de lucru: Metoda combinată

Data: 18.05.73

$$U_s = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{12}{0,09} = 134$$

din cenușă de locomotivă (fig. 3.13) și substrat pe terasament din loess (fig. 3.14), toate caracterizate ca bune și foarte bune.

3.2.4. Prelucrarea datelor experimentale (teren și laborator)

În continuarea cercetărilor, autorul a reținut pentru studiu numai tronsoanele de cale pe care comportarea substratului a fost bună și foarte bună (sondajele numerotate de la 1 la 34 în tabelele 3.1 și 3.2), aceasta în vederea stabilirii corelației între granulozitatea substratului și cea a terasamentului, respectiv a valorii rapoartelor d_{15s}/d_{15t} , d_{15s}/d_{85t} și d_{50s}/d_{50t} , astfel încât de-a lungul întregii perioade de serviciu a substratului, acesta să-și îndeplinească în cele mai bune condiții funcția de filtru invers. În ceea ce privește sectoarele pe care substratul s-a comportat satisfăcător sau rău, studiile de teren și laborator (din care o parte sînt prezentate în tabelele 3.1 și 3.2, numerotate de la I la IV și în figurile 3.10 și 3.11) au indicat o împrăștiere foarte mare a parametrilor măsurați sau determinați, încît este imposibilă o analiză a lor, practic fiind un număr înfint de cazuri în care poate apărea comportarea necorespunzătoare a substratului.

Prelucrarea parametrilor obținuți pe cale 34 tronsoane de cale cu substrat bun și foarte bun s-a făcut pe baze statistice, cu scopul de a se obține limitele între care cele trei rapoarte menționate permit stabilirea granulozității optime a substratului, plecîndu-se de la cea a terasamentului, care deja este cunoscută în momentul în care se pune problema proiectării substratului.

În cazul substratului căii, autorul consideră că din cele două condiții care se impun filtrului invers, și anume, cea de prevenire a colmatării filtrului și cea de reducere a forței curenților, deosebit de importantă este prima, deoarece prin blocarea migrării particulelor fine din terasament în substrat se asigură fiabilitatea și durabilitatea acestuia, în ultimă instanță chiar existența sa, un substrat colmatat fiind de fapt un strat inert al terasamentului care nu mai exercită nici-una din funcțiile substratului. Cea de a doua condiție este mai puțin importantă în cazul substratului căii datorită faptului că respectivii curenți produși de fenomenele hidrodinamice își schimbă alternativ sensul cu frecvența de 5...10 Hz, motiv pentru care nu se poate pune problema unor deranjamente majore ale substratului cauzate de forța curenților hidrodinamici, chiar dacă energia lor este mult mai mare comparativ cu situația ougerii

libere. Din aceste considerente, în continuarea studiilor s-a acordat atenție mărită raportului d_{15s}/d_{85t} .

Pentru prelucrarea statistică a valorilor raportului menționat, autorul a ales caele procedeele utilizate în cazul controlului statistic al calității produselor [8], [186].

Conform metodologiei alese, în prima etapă s-a făcut ordonarea în șir crescător a valorilor raportului d_{15s}/d_{85t} , prezentate în tabelul 3.3.

TABELUL 3.3
VALORILE RAPORTULUI d_{15s}/d_{85t}
ORDONATE CRESCĂTOR

Nr. crt.	d_{15s}/d_{85t}	Nr. crt.	d_{15s}/d_{85t}
1	0.55	18	2.06
2	0.59	19	2.12
3	0.70	20	2.27
4	1.09	21	2.31
5	1.18	22	2.42
6	1.33	23	2.56
7	1.44	24	2.72
8	1.56	25	2.94
9	1.65	26	2.97
10	1.81	27	3.03
11	1.86	28	3.08
12	1.90	29	3.13
13	1.93	30	3.17
14	1.94	31	3.22
15	1.96	32	3.30
16	1.98	33	3.61
17	2.01	34	4.02

Pentru determinarea valorii în jurul căreia se înregistrează cea mai mare frecvență a raportului analizat, aceste valori au fost grupate pe clase. Prin această operație s-a evidențiat numărul de valori ale raportului care sînt relativ apropiate.

Numărul minim de clase sub care nu se poate coborî s-a determinat cu formula (3.11) [8]:
 $k = 1 + 3,322 \lg n$ (3.11)
 în care:

k este numărul minim de clase;

n - numărul valorilor analizate, în cazul de față fiind egal cu 34.

Înlocuind în formulă, numărul minim de clase rezultă:

$$k = 1 + 3,322 \lg 34 = 1 + 3,322 \cdot 1,53148 = 6,09$$

Ținînd cont de numărul elementelor analizate și pentru a avea o precizie ridicată a prelucrării datelor, s-a ales $k = 11$.

Pasul clasei, funcție de care se stabilesc limitele între care se află fiecără clasă, se stabilește cu formula:

$$a = \frac{w}{k} \quad (3.12)$$

în care:

a este pasul clasei;

w - cîmpul de dispersie a elementelor supuse calcului statistic, respectiv diferența dintre valoarea maximă și cea minimă, adică:

$$w = 4,02 - 0,55 = 3,47$$

$$a = \frac{3,47}{11} = 0,3155$$

Pentru obținerea limitelor primei clase, s-a adăugat la prima valoare din tabelul 3.3 pasul clasei, rezultând:

- limita inferioară a clasei: 0,5500;
- limita superioară a clasei: 0,5500 + 0,3155 = 0,8655.

Limita inferioară pentru cea de a doua clasă este identică cu limita superioară a primei clase, iar limita superioară s-a obținut prin majorarea limitei inferioare cu pasul clasei, respectiv:

- limita inferioară a celei de a doua clasă: 0,8655;
- limita superioară a celei de a doua clasă: 0,8655 + 0,3155 = 1,1810

În mod similar s-au determinat și limitele celorlalte 9 clase, conform tabelului 3.4.

TABELUL 3.4
LIMITELE SI FRECVENȚA CLASELOR RA-
POARTELOR d_{15s}/d_{85t}

Nr. clasă	Limite clasă	Frecvența claselor		
		Frecvența absolută f_a	Frecvența relativă $f_r = \frac{f_a}{n}$	Frecvența cumulată $f_c = \sum f_r \cdot 100$
I	0,5500 - 0,8655	3	0,09	9
II	0,8655 - 1,1810	2	0,06	15
III	1,1810 - 1,4965	2	0,06	21
IV	1,4965 - 1,8120	3	0,09	30
V	1,8120 - 2,1275	9	0,27	57
VI	2,1275 - 2,4430	3	0,09	66
VII	2,4430 - 2,7585	2	0,06	72
VIII	2,7585 - 3,0740	3	0,09	81
IX	3,0740 - 3,3895	5	0,15	96
X	3,3895 - 3,7050	1	0,02	98
XI	3,7050 - 4,0205	1	0,02	100

$n = 34$ (numărul de probe analizate)

Avind stabilite limitele celor 11 clase, s-a determinat frecvența lor, adică repartiția numărului de valori măsurate ce se află în limitele fiecărei clase. Așa de exemplu, frecvența absolută (notată cu f_a în tabelul 3.4) a valorii rapoartelor d_{15s}/d_{85t} cuprinse în clasa a IV-a este de 3, deoarece între limitele acestei clase (1,4965-1,8120) se află valorile avind nr. crt. 8, 9 și 10 din tabelul 3.3, adică

1,56 - 1,65 și 1,81.

Pentru evidențierea tendinței de variație a valorii rapoartelor analizate și facilitarea conluzioanării, autorul a mai determinat frecvența relativă f_r și frecvența relativă cumulată f_c .

Frecvența relativă f_r este dată de raportul f_a/n , adică de raportul dintre frecvența absolută și numărul total de elemente luate în studiu, în cazul de față 34.

Frecvența relativă cumulată f_c prezintă procentual și cumulat modul în care se regăsesc valorile analizate în clase, ea determi-

afindu-se prin multiplicarea cu 100 a frecvenței relative și însumarea în ordinea claselor a rezultatelor. Pe baza acestor elemente, autorul a întocmit histograma (fig. 3.15), diagrama frecvenței relative (3.16) și diagrama frecvenței relative cumulate (fig. 3.17).

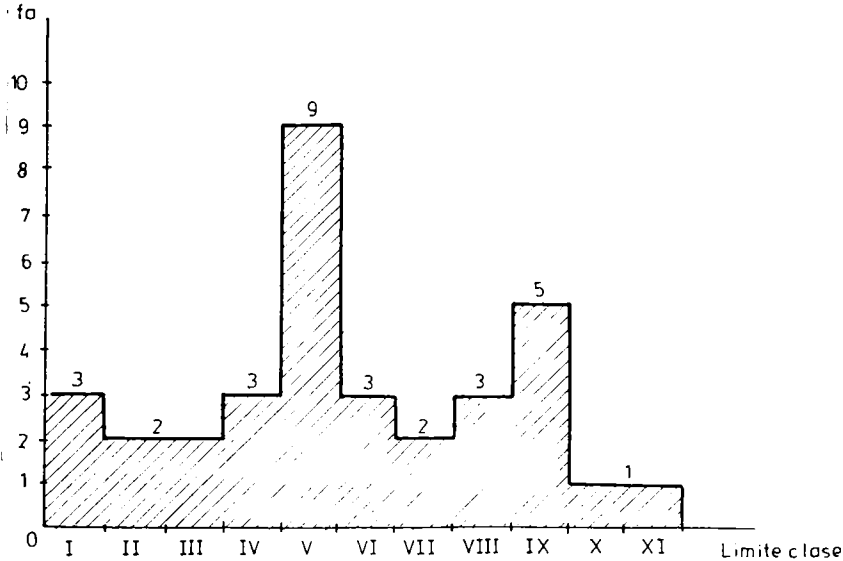


Fig.3.15. Histograma frecvenței absolute f_a a rapoartelor d_{15s}/d_{85t} ce apar în limitele celor 11 clase.

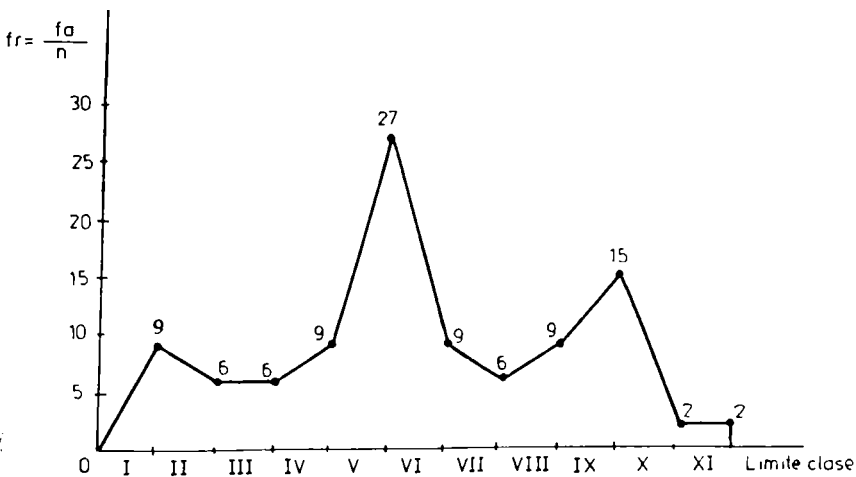


Fig. 3.16. Diagrama frecvenței relative f_r a rapoartelor d_{15s}/d_{85t} ce apar în limitele celor 11 clase.

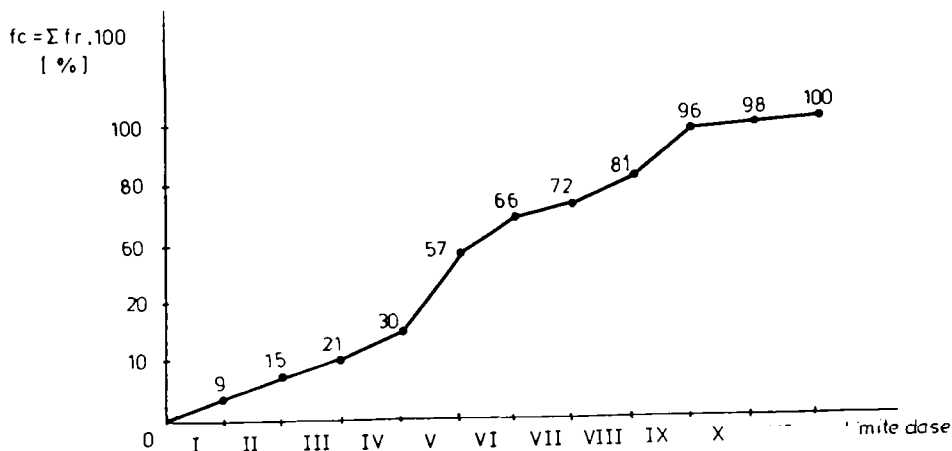


Fig. 3.17. Diagrama frecvenței relative cumulate f_0 a rapoartelor d_{15s}/d_{85t} ce apar în limitele celor 11 clase.

Analiza acestor diagrame relevă că histograma prezintă un maximum de frecvență în limitele clasei V și după o reducere a frecvenței, aceasta prezintă un nou maximum-mai redus ca valoare-în dreptul clasei IX.

Diagrama frecvenței relative prezintă și mai pregnant această tendință de variație a frecvenței raportului d_{15s}/d_{85t} în cadrul diferitelor clase prin faptul că ea are vîrfuri în dreptul claselor menționate mai înainte. De asemenea, diagrama frecvenței relative cumulate prezintă pante mai accentuate tot corespunzător celor două clase.

Toate aceste diagrame evidențiază faptul că pentru valori ale raportului d_{15s}/d_{85t} cuprinse între 1,8120 și 2,1275, se încadrează clase cu cea mai mare frecvență de apariție în calculul statistic. Corelînd aceste concluzii cu datele centralizate în tabelul 3.2, rezultă că în jurul valorii medii a acestei clase, 2, se află și majoritatea tronsoanelor caracterizate ca foarte bune. De asemenea, se observă că pentru valori ale raportului aflate în jurul valorii 3, majoritatea tronsoanelor sînt de calitate bună.

Acest raport, care exprimă condiția de blocare a penetrării particulelor fine din terasament în substrat, este necesar să fie limitat superior deoarece în cazul în care dimensiunea particulelor din substrat este mai mare decît anumite dimensiuni ale particulelor din terasament, migrarea particulelor fine din terasament în substrat sub acțiunea forțelor hidrodinamice produse de trafic nu

mai poate fi oprită.

Deci pentru a avea un substrat foarte bun, este necesar ca raportul:

$$\frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 2 \quad (3.13)$$

iar pentru un substrat bun acest raport trebuie să fie:

$$\frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 3 \quad (3.14)$$

După părerea autorului, substratul bun sau foarte bun se alege funcție de importanța liniei, în sensul că pentru liniile magistrale, cu sarcini grele de trafic, se va alege un substrat foarte bun, care presupune uneori costuri ce pot fi mai mari decât în cazul substratului bun, deoarece realizarea valorii 2 pentru raportul respectiv este în general mai greu de realizat decât valoarea 3, de multe ori fiind necesară sortarea materialului granular sau aprovizionarea de la o sursă mai îndepărtată la care materialul aflat în zăcămint în stare naturală respectă condiția impusă de relația 3.13. Substratul bun se recomandă pentru linii de importanță mai redusă, cu trafic mic, pentru linii secundare, industriale și de garaj.

Analizând valorile minime ale respectivului raport cuprinse în tabelul 3.2, rezultă că ele sînt superioare valorii de 0,5.

În ceea ce privește valorile acestui raport pentru cazurile în care substratul s-a comportat rău sau satisfăcător, ele au o arie foarte mare de variație, întîlnindu-se valori de la 6 pînă la 24 sau chiar mai mari. Acest fapt arată o dată în plus necesitatea plafonării raportului în limitele indicate anterior, raportul respectiv fiind vital pentru duranța substratului, în sensul că în momentul în care volumul particulelor fine din terasament migrează în substrat depășește anumite valori, calitățile acestuia sînt diminuate, el nu și mai poate îndeplini funcțiile la întreaga capacitate și intră într-un proces ireversibil de degradare.

Important este și raportul d_{15s}/d_{15t} , dar el are o influență mai redusă asupra conservării în timp a calităților substratului. El exprimă condiția de reducere a forței curentului și de asigurare a posibilității de scurgere normală a apei (pentru cazul filtrelor inverse utilizate la drenări). În cazul substratului însă, datorită faptului că apa are circulație forțată, cu presiuni ridicate, cu dublu sens de deplasare ce se schimbă rapid, este practic imposibil să se impună condiția de reducere a forței curentului datorită tocmai

valorii mari a presiunii ce ar trebui micșorate. De asemenea, drenarea apei nu este un scop în sine, singura funcție a substratului, ci ea se face operativ în cazul unui substrat corespunzător, în momentul în care apa vine în contact cu calea, fără ca această activitate să aibă un caracter permanent pe toată perioada de serviciu a substratului, ci numai temporar. Cu toate acestea, autorul consideră că este necesară limitarea inferioară a acestui raport în vederea asigurării stabilității substratului la acțiunea forțelor hidrodinamice. Analiza tabelului 3.2 relevă că valorile raportului d_{15s}/d_{15t} se întind pe o zonă destul de largă. Cum valorile minime oscilează în jur de 10...30, corelându-se aceasta și cu indicii respectivi de calitate, rezultă că pentru un substrat foarte bun este necesar ca valoarea acestui raport să fie superioară lui 30 iar pentru un substrat bun, mai mare decât 10, adică:

$$\frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 30 \quad (3.15)$$

și respectiv:

$$\frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 10 \quad (3.16)$$

Deoarece literatura referitoare la filtrele inverse [173] recomandă paralelismul între curba granulometrică a filtrului și cea a materialului protejat, autorul a analizat și acest aspect în cazul substratului. Adaptată în cazul substratului, relația respectivă (3.10) devine:

$$12 < \frac{d_{50s}}{d_{50t}} < 58 \quad (3.17)$$

Studiul valorilor rezultate pentru acest raport și cuprinse în tabelul 3.2, denotă că valoarea superioară, limitativă în cazul filtrelor inverse, este depășită pentru toate cazurile analizate. Această concluzie este deosebit de importantă sub aspect economic, deoarece rezultă că nu este absolut obligatorie respectarea celor două limite, fapt ce în unele situații ar impune sortări ale materialului pentru substrat sau apelarea la surse mai îndepărtate pentru materialul din substrat. Analiza valorilor raportului d_{50s}/d_{50t} prezentate în tabelul 3.2 indică că totuși limita inferioară a raportului nu poate fi coborâtă sub cea recomandată de relația 3.10, respectiv 12.

Toate aceste condiții stabilite pentru granulozitatea substre-

tului căii, impun ca determinarea granulozității optime a lui să se facă grafic, pe curbe granulometrice, plecându-se de la granulozitatea cunoscută, cea a terasamentului.

Comentînd valoarea rapoartelor stabilite de autor pentru substrat și comparîndu-le cu cele utilizate în cazul filtrelor inverse, rezultă că în ceea ce privește raportul d_{15s}/d_{85t} , este mai mic în cazul substratului. Acest lucru se explică prin faptul că raportul respectiv, care impune condiția de blocare a penetrării particulelor fine din terasament în substrat sub acțiunea forțelor hidrodinamice produse de circulația materialului rulant, este mai redus deoarece forța acțiunilor hidrodinamice este mult mai mare decît în cazul filtrării libere și deci forțele care se opun colmatării trebuie să fie mai mari, acest lucru traducîndu-se printr-o valoare mai redusă a raportului amintit.

Raportul d_{15s}/d_{15t} a rezultat mai mare decît în cazul filtrelor inverse, acest lucru explicîndu-se prin faptul că el, reprezentînd condiția reducerii forței curențului, trebuie să fie mai mare tocmai pentru faptul că impunînd în cazul fenomenelor hidrodinamice din cale reducerea forței curențului, deci chiar a fenomenelor hidrodinamice, care au o energie foarte mare comparativ cu cea a apei ce se deplasează prin filtrare, s-ar produce antrenarea unui volum mărit de particule, marea majoritate provenind din substrat. Cu cît substratul se va opune mai mult acțiunilor hidrodinamice, cu atît va fi mai mult dislocat de curenții hidrodinamici. Pentru ca structura substratului să nu fie deranjată de acești curenți, este necesar ca și de acest raport să se țină seama la proiectarea substratului, cu atît mai mult cu cît sensul de deplasare al acestor curenți se schimbă continuu și rapid, funcție de înălțarea sau descărcarea traversei. La sensul de deplasare substrat-terasament apare tendința de desprindere a particulelor din terasament iar la sensul terasament-substrat, aceste particule sînt deplasate către substrat, în situația substratului necorespunzător avînd loc difuzia acestor particule în substrat, colmatarea și dislocarea substratului, dacă rezistența ce se opune curenților hidrodinamici este mare.

Cu ocazia studiilor de teren și laborator asupra funcției de filtru invers pe care o exercită substratul între terasament și prisma căii, s-au mai desprins și alte concluzii importante pentru starea căii în ansamblu, privită din punctul de vedere al substratului și anume:

- comportarea substratului nu este influențată practic de materialul și tipul traversei, de profilul transversal al căii, de limi-

tele lui Atteberg (pentru pământurile coezive din terasamente) deoarece nu s-a observat nici-un fel de grupare a comportării substratului sau a unor parametri de laborator funcție de unul din factorii menționați;

- la calea cu joante, fenomenele hidrodinamice sînt mult mai intense comparativ cu cea sudată, ele descreșcînd progresiv de la joante spre mijlocul panoului. În aceste zone, particulele fine din terasament migrează pe înălțimi de 15...20 mm pentru cazurile obișnuite, ajungîndu-se pînă la colmatarea completă a substratului în cazurile în care acesta a fost necorespunzător ales, executat și întreținut. În aceste condiții, permeabilitatea substratului scade foarte mult iar circulația apei este încetinită, apărînd numeroase zone de acumulare și stagnare a apei. Ele au influență negativă asupra stabilității căii în general. Analizîndu-se substraturi cu diverse vechimi în cale, s-a observat că procesul de întrepătrundere evoluează rapid în primii 2...3 ani (grosimea întrepătrunderii fiind dictată de calitatea substratului), perioadă în care se consumă circa 90% din valoarea totală a migrării, viteza de întrepătrundere scăzînd treptat, întregul proces consumîndu-se în 5...8 ani, funcție de corelația dintre granulozitatea substratului și cea a terasamentului, regim hidrologic, condiții de trafic. Viteza de colmatare este mult mai mare în cazul căii cu joante față de cea sudată iar joantele sînt punctele în care se înregistrează un maximum al vitezei de înnoire. Rezultă că și sub acest aspect calea fără joante este mai avantajoasă precum și faptul că în cazul căii cu joante va trebui acordată atenție mărită proiectării substratului căii;

- în unele situații mai deosebite (linii pe care circulă garnituri cu agregate minerale, minereu, cărbuni, sau piatra spartă are rezistențe mecanice reduse fiind sfărîmată cu ocazia burajului și prin circulație), se manifestă și un proces de colmatare a substratului de sus în jos. Particulele fine din prisma căii ajung, în special prin procesele hidrodinamice, în partea superioară a substratului, colmatîndu-l;

- substratul alcătuit în sistem binar (la bază nisip apoi balast de rîu) se comportă bine, deseori chiar mai bine (funcție de calitatea și granulozitatea substratului) decît cel din nisip, ca urmare a faptului că balastul conferă substratului capacitate drenantă mărită și ascensiune capilară redusă. Fiind utilizat în stare naturală, balastul revine și la un preț de cost redus. O asemenea alcătuire a substratului nu este însă indiosată în cazul liniilor la care există posibilitatea colmatării și de sus în jos datorită

faptului că balastul va fi contaminat mai repede cu materiale fine provenite din prisma căii;

- cu cât substratul este mai apropiat de traverse (prisma căii avînd grosime redusă), cu atât și procesul de colmatare al substraturilor necorespunzătoare este mai rapid, ca urmare a faptului că intensitatea proceselor hidrodinamice este amplificată;

- pe liniile cu viteze mari de circulație și trafic greu, procesele hidrodinamice sînt la rîndul lor mai intense, motiv pentru care este necesar ca proiectarea, executarea și întreținerea substratului să se facă cu atenție sporită;

- la grosimi deosebit de mari ale substratului (peste 50 cm), importanța corelației dintre granulozitatea terasamentului și cea a substratului se reduce datorită faptului că procesele hidrodinamice se atenuază la limita substrat-terasament pe măsură ce înălțimea substratului crește. Chiar făcînd abstracție de costul ridicat al unei astfel de soluții, o grosime mare a substratului este contraindicată și pentru faptul că este mai puțin stabil la vibrațiile produse de circulația materialului rulant;

- grosimile reduse ale substratului sînt avantajoase și indicate în special în cazul terasamentelor negelive, dar valorile minime nu pot fi coborîte sub o anumită valoare impusă de precizia de lucru a utilajelor terasiere. Pe zonele pe care s-a lucrat negrijit, chiar dacă granulozitatea s-a încadrat între anumite limite acceptabile, în situația în care grosimea a scăzut sub 6...7 cm, s-a constatat că substratul s-a degradat rapid. Sub influența și a altor condiții defavorabile (pante de scurgere discontinue, granulozitate necorespunzătoare etc.) s-a grăbit ieșirea din serviciu a substratului. Din acest punct de vedere, este necesar ca grosimea minimă a substratului să fie de 10...15 cm;

- cenușa de locomotivă poate fi utilizată la substrat cu bune rezultate pentru înlocuirea agregatelor minerale, în special la unele reparații (se dispune de cantități reduse de cenușă în actualele condiții de tracțiune), cu condiția ciuruirii prealabile a ei. Analiza zonei cu cenușă a demonstrat că ea poate prelua în bune condiții solicitările mecanice. Datorită însă faptului că suprafața granulelor de cenușă este mai activă din punct de vedere fizico-chimic decît a celor minerale, timpul de retenție al apei este mărit față de cazul particulelor minerale de aceeași dimensiune, este recomandabilă folosirea cenușii de locomotivă pe sectoare cu umiditate redusă.

Aceste constatări, bazate în special pe observații directe, se consideră că sînt utile pentru completarea imaginii asupra substratului ca filtru invers între terasament și prisma căii.

3.2.5. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului ca filtru invers

În cele ce urmează se prezintă câteva concluzii desprinse ca urmare a studiilor, și anume:

1. - cercetările au relevat că modul de comportare a substratului nu este influențat de materialul și tipul traversei, de tipul profilului transversal al căii, de limitele lui Atteberg pentru păminturile din terasamente;

2. - la calea cu joante și pe liniile cu condiții grele de trafic, procesele hidrodinamice și deci condițiile de lucru ale substratului sînt mai severe;

3. - în condițiile în care în substrat pot pătrunde pe la parte superioară a sa materiale fine, are loc și o colmatare de sus în jos a substratului;

4. - substratul în sistem binar se comportă uneori mai bine decât cel executat dintr-un strat din nisip, cu excepția cazurilor în care se poate produce și o colmatare de sus în jos;

5. - cînd grosimea substratului depășește 50 cm, procesele hidrodinamice și deci colmatarea sînt mult diminuate. Grosimea minimă a lui nu poate coborî sub 10...15 cm din condiții impuse de execuție și exploatare;

6. - cenușa de locomotivă poate fi utilizată cu bune rezultate la executarea substratului căii, după o prealabilă cernere prin care să se elimine particulele fine și bulgării rezultați din concenetrarea unor particule mai mici în timpul arderii;

7. - ca urmare a fenomenelor hidrodinamice ce iau naștere în cale în timpul circulației materialului rulant, se produce antrenarea particulelor fine din terasament și migrarea lor în substrat, ceea ce duce la colmatarea și scoaterea lui din serviciu. În vederea împiedicării acestor fenomene, este necesar ca substratul să lucreze și ca filtru invers între terasament și piatra spartă din prisma căii;

8. - datorită faptului că între modul de lucru și funcționarea filtrelor inverse obișnuite și substrat există diferențe foarte mari deoarece în cazul substratului condițiile de exploatare sînt deosebit de severe, motiv pentru care regulile generale de proiectare ale filtrelor inverse nu pot fi aplicate în cazul căii ferate, autorul și-a propus stabilirea unor criterii specifice substratului;

9. - stabilirea criteriilor de calcul a substratului ca filtru invers, teoretic sau prin încercări de laborator fiind practic im-

posibil de efectuat, autorul a folosit analiza statistică a datelor de pe unele sectoare de cale cu substrat care s-a comportat bine și foarte bine o perioadă lungă de timp și sub un trafic foarte mare;

10. - pe baza cercetărilor autorului a rezultat că pentru a avea un substrat foarte bun, este necesar ca:

$$0,5 < \frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 2$$

$$\frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 30$$

iar pentru un substrat bun:

$$0,5 < \frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 3$$

$$\frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 10$$

Autorul recomandă și folosirea relației:

$$12 < \frac{d_{50s}}{d_{50t}} < 58$$

neadmițându-se ca valoarea raportului să scadă sub 12.

Din studiile efectuate rezultă posibilitatea folosirii concluziilor și criteriilor la care s-a ajuns, în vederea dimensionării substratului căii ca filtru invers între terasament și prisma căii, ceea ce conferă posibilitatea dimensionării unei infrastructuri cu capacitate portantă sporită în vederea preluării solicitărilor, inclusiv cele dinamice din traficul intens.

3.3. SCURTA ANALIZA A SUBSTRATULUI CĂII CA INTERRUPATOR AL ASCENSIUNII CAPILARE A APELOR SPRE PRISMA CĂII

Din analiza unor substraturi de cale din punctul de vedere al manifestării capilarității, s-a constatat că chiar și în cazurile în care cantitatea de apă din cale este redusă, nefiind posibilă producerea fenomenelor hidrodinamice și a migrării particulelor fine din terasament, se manifestă deranjamente ale stării căii atunci când substratul este necorespunzător sau absent, ca urmare a ascensiunii capilare a apei în prisma căii.

Prezența apei capilare în prisma căii în situația în care aceasta este colmatată, are efect negativ asupra acesteia deoarece reduce în mod considerabil frecarea internă, ceea ce duce la diminuarea capacității de preluare a acțiunilor verticale precum și a

celor orizontale (longitudinale și transversale căii) produse de materialul rulant, adică la periclitatea stabilității căii [127]. De asemenea, umiditatea ridicată duce la scăderea rezistenței electrice a prismei căii, existând posibilitatea apariției de semnalizări eronate deosebit de periculoase pentru siguranța circulației pe liniile dotate cu bloc automat de linie [160]. Rezultă că nu este indiferentă prezența apei capilare în cale nici în perioadele de îngheț-dezghet [12], deoarece au loc acțiuni mecanice prin creșterea respectiv descreșterea volumului apei care produc denivelări ale căii, un motiv în plus pentru eliminarea capilarității sau cel puțin pentru diminuarea zonei de influență a ei, deoarece aceasta contribuie la migrarea umezelii în zona de îngheț [74].

Enumerarea principalelor deranjamente pe care le produce apa ajunsă prin capilaritate în prisma căii se constituie ca un argument în favoarea dotării căii cu un substrat capabil să anihileze tendința de transfer prin capilaritate a apei libere de pe fața superioară a terasamentului în prisma căii. Acest lucru este cu atât mai important, cu cât numeroasele studii referitoare la starea căii [82], [123], [127], [150], [152] relevă că în foarte multe cazuri pe terasamente există apă liberă din abundență. Sondajele efectuate de autor în vederea analizării unor zone cu probleme de stabilitate a căii 106, au confirmat prezența apei libere în cale. Această stagnare este posibilă datorită mai multor factori. Se menționează în primul rând zonele pe care suprafața terasamentelor n-a fost executată sau protejată corespunzător în timpul execuției. Din această cauză, suprafețele nu sînt perfect plane, pantele sînt discontinue sau apar chiar contrapante. Ca urmare a neglijenței în execuție, pe terasamente rămîn numeroase emprente produse de pneurile și șenilele utilajelor de construcții și transport, de materialele de suprastrucură (traverse și șini în special). O altă posibilitate de apariție a apei pe terasamente s-a observat în zonele inundabile sau la care pînza freatică este ridicată, ascensiunea prin capilaritate a ei avînd loc chiar prin terasament. Rezultă astfel existența unor surse de apă liberă ce pot alimenta procesul de capilaritate în prisma căii.

Din analiza unor sectoare în care s-a observat prezența apei libere precum și existența substratului, a rezultat că apa capilară din acesta nu afectează calitățile sale, coeziunea aparentă care se manifestă în asemenea situații conferindu-i chiar o oarecare spori-re a rezistenței mecanice. Cercetările arată că în condițiile în care prisma căii este constituită numai din granule din piatră spartă

ourată (dimensiunile sînt cuprinse între 25 și 63 mm)[41]apa capilară nu mai poate constitui pericol. ca urmare a faptului că ascensiunea capilară este limitată la baza prisme căii. În realitate însă, prisma căii se prezintă în diverse stadii de colmatare, impunîndu-se studiul substratului căii și ca întrerupător al ascensiunii capilare.

Analiza efectuată de autor a avut ca scop să constate modul de comportare și să stabilească condițiile pe care trebuie să le îndeplinească substratul, privit prin prisma legilor generale ale capilarității în pămînturi[2], astfel încît să fie prevenită depășirea grosimii substratului de către apa capilară, care astfel nu mai poate ajunge la baza prisme căii. Realizarea acestei condiții este posibilă prin utilizarea în substrat a unor materiale drenante a căror înălțime capilară este inferioară grosimii substratului.

Avînd în vedere faptul că grosimea curentă a substratului este cuprinsă între 15 și 30 cm, rezultă că materialul granular cu ascensiunea capilară mai mică de 15 cm corespunde sub aspectul acestei funcții pentru a fi utilizat la execuția substratului.

Literatura de specialitate[2], [102], relevă că valoarea ascensiunii capilare este invers proporțională cu granulozitatea pămîntului. Astfel, în cazul nisipurilor mijlocii (cu granule avînd dimensiunile cuprinse între 0,25...0,5 mm), înălțimea limită a ascensiunii capilare este cuprinsă între 12 și 35 cm. Odată cu creșterea dimensiunii particulelor la valori de 0,5...2,0 mm (nisipuri mari), ascensiunea capilară atinge doar 2,0...3,5 mm.

Rezultă că pentru a avea un substrat care să blocheze în mod corespunzător ascensiunea capilară a apei de pe terasament spre prisma căii, este necesar ca acesta să fie constituit din nisip mare și mijlociu în care granulele cu dimensiuni mai mari de 0,25 mm să fie predominante, eliminîndu-se pe cît este posibil fracțiunile cu dimensiuni sub această valoare, evitîndu-se fragmente mai mari deoarece deși satisfac condiția de capilaritate redusă, nu îndeplinesc condiția de filtru invers (aspect tratat în paragraful 3.2). Nisipul mare și mijlociu care satisface foarte bine condiția de reducere a ascensiunii capilare este foarte indicat și sub aspectul drenării apelor pluviale prin substrat (prezentare făcută în paragraful 3.1).

Autorul a constatat că în aceste condiții are loc și un fenomen de aerisire a feței superioare a terasamentului și implicit o consolidare suplimentară a acestuia în perioadele mai călduroase și fără precipitații, cînd apa care urcă capilar în substrat este cedată treptat în atmosferă datorită căldurii și curenților de aer produși de vînt, de circulația trenurilor și de fenomenele aerodi-

namice ce apar în lășăturile oarbe ale traverselor. Din observațiile făcute pe trosoanele analizate, se mai constată că fenomenele de reducere a ascensiunii capilare și de aerisire sînt și mai mult avantajate de alcătuirea în sistem binar a substratului (nisip la bază și balast la partea superioară) datorită granulelor mai mari din balast.

În concluzie, se poate aprecia că analiza efectuată asupra funcției substratului de întrerupător a ascensiunii capilare a apei spre prisma oăii a relevat următoarele:

- datorită marilor neajunsuri pe care le provoacă apa ajunsă prin capilaritate în prisma oăii, este necesar ca între aceasta și terasament să fie interpus un substrat care să blocheze acest acces;

- nisipul în care predomină granulele cu dimensiuni mai mari de 0,25 mm asigură ascensiunea capilară inferioară grosimii substratului precum și creșterea portanței terasamentelor prin fenomenul de aerisire a părții superioare a terasamentului;

- alcătuirea în sistem binar a substratului este avantajoasă sub aspectul reducerii capilarității, fiind indicată și din punct de vedere economic ca urmare a utilizării pe scară largă a balastului de râu așa cum se află în zăcămint, fără sortări ulterioare.

3.4. STUDIUL SUBSTRATULUI CAII CA ELEMENT DE TRANSMITERE, REDUCERE SI UNIFORMIZARE A EFORTURILOR DINAMICE PRODUSE DE TRAFIC

3.4.1. Studii teoretice asupra funcției de transmitere, reducere și uniformizare a eforturilor dinamice produse de trafic

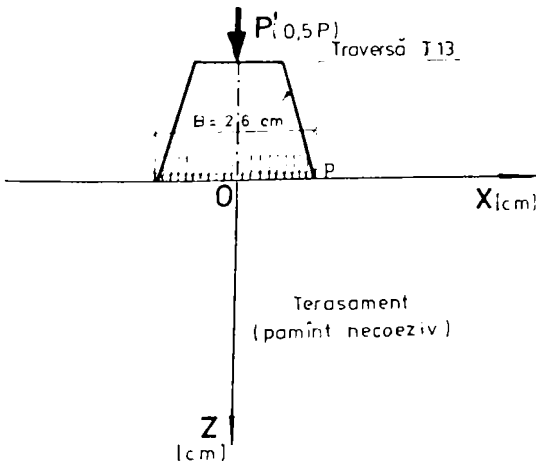
Ca strat intermediar dispus între prisma oăii și terasament, substratului îi revine rolul de a prelua de la suprastructură și de a transmite la terasament totalitatea acțiunilor dinamice produse de circulația materialului rulant precum și de greutatea proprie a suprastructurii. Prin calitățile sale, substratul trebuie să asigure preluarea la fața superioară a unor eforturi de ordinul a 200...300 kPa (ce iau naștere la baza prismei oăii), aspect arătat în bibliografia de specialitate dintre care se citează [24], [30], [44], [127], [166] și predarea către terasament a unei presiuni uniforme de ordi-

nul a 100 kPa (valoare minimă ce reprezintă portanța medie a pământurilor utilizate în mod curent la executarea terasamentelor feroviare [71],[127],[152].

În abordarea teoretică a acestei funcții a substratului, autorul a aplicat principiile generale de distribuție a eforturilor utilizate în mecanica pământurilor [19],[71],[74],[102],[145] în cazul condițiilor de trafic specifice rețelei de căi ferate din Republica Socialistă România. Pentru calculele s-a ales traversa din beton precomprimat tip T 13 încărcată cu o sarcină pe osie de 250 kN. Stabilirea distribuției eforturilor sub talpa traversei s-a făcut în ipoteza fundației cu lungimea mult mai mare ca lățimea [71] (permițând efectuarea calculelor ca pentru o grindă de lungime infinită), încărcată cu acțiune uniform distribuită. S-au ales aceste elemente de calcul considerându-se că sînt caracteristicile traversei (care în prezent are cea mai mare arie de utilizare pe rețeaua CFR) cît și ale încărcării, satisfac cerințele actuale și de perspectivă [120] iar metoda și ipotezele de calcul sînt destul de apropiate de fenomenul fizic din cale, apreciindu-se că micile diferențe nu influențează (sub aspect calitativ) concluziile acestui studiu teoretic.

Evidențierea funcției de reducere a eforturilor s-a făcut prin intermediul diagramei eforturilor determinate sub talpa traversei în axul acesteia (fig. 3.19) iar a celei de uniformizare a eforturilor pe baza diagramelor de eforturi unitare verticale la diverse niveluri sub traversa direct încărcată (fig. 3.23), sub cele adiacente acesteia (fig. 3.24) precum și în cazul suprapunerii celor două diagrame (fig. 3.25).

Conform schemei de calcul alese (fig. 3.18), traversa din beton



precomprimat tip T 13, s-a considerat încărcată cu o forță pe osie $R=250$ kN. Amplificându-se cu un coeficient dinamic mediu $\phi=1,75$, valoarea acțiunii de calcul P rezultă:

$$P = R \cdot \phi \quad (3.18)$$

$$P = 250 \cdot 1,75 = 437,5 \text{ kN}$$

Avînd în vedere faptul că urmare a fenomenelor de conlucrare ce au loc în cale prin intermediul șinelor, se consideră că tra-

Fig. 3.18. Schema de calcul a eforturilor sub talpa traversei.

versa încărcată direct peis cires 50% din acțiunea totală [44], [136], valoarea de calcul rezultă:

$$P' = 437,50 \cdot 0,50 = 218,75 \text{ kN}$$

S-a presupus că traversa reazemă direct pe terasamentul constituit din pământ necoeziv pe întreaga suprafață. Lungimea traversei este de 250 cm iar lățimea de 26 cm, suprafața de rezemare rezultând:

$$S = 250 \cdot 26 = 6.500 \text{ cm}^2$$

In aceste condiții, valoarea acțiunii uniform distribuite p care s-a luat în calcul la determinarea eforturilor sub talpa traversei s-a stabilit cu formula:

$$p = \frac{P'}{S} \quad (3.19)$$

în care:

P' este acțiunea de calcul, exprimată în daN;

S - suprafața tălpiei traversei, exprimată în cm^2 ;

$$p = \frac{21875 \text{ daN}}{6500 \text{ cm}^2} = 3,3654 \text{ daN/cm}^2 = 336,54 \text{ kPa}$$

Considerându-se terenul necoeziv, s-a făcut abstracție de asemenea de concentratorul de eforturi ce apare în axa tălpiei traversei ca urmare a rigidității acesteia, presiunea p luându-se în continuare în calcul egală pe toată suprafața tălpiei traversei, cu valoarea de 340 kPa.

Pe baza acestor elemente, s-au determinat eforturile ce se dezvoltă sub talpa traversei conform metodologiei curente, utilizându-se valorile din tabelul 8.5 din [71].

Valorile eforturilor în axul traversei și la diverse adâncimi, s-a determinat cu formula [71]:

$$\sigma_z = p I_5 \quad (3.20)$$

în care:

σ_z este efortul în axul traversei la adâncimea z , exprimat în kPa;

p - valoarea presiunii uniform distribuite de calcul, exprimată în kPa;

I_5 - coeficient de influență întabulat.

Determinarea presiunilor în adâncime, respectiv în axul traversei, s-a făcut pînă la adâncimea egală cu de trei ori lățimea tălpiei traversei (78 cm), respectiv zona apreciată că înglobează substratul și prisma căii (tabelul 3.5).

Pe baza valorilor astfel determinate, s-a întocmit diagrama

eforturilor sub talpa traversei (fig. 3.19).

TABELUL 3.5

EFORTURI IN ADINCIME SUB TRAVERSA
DIN INCARCAREA $P' = 0,5 P$

Z [cm] (adincimea sub talpa traversei)	$\frac{Z}{b}$	I_5	σ_z [kPa]
0	0	100	340,0
6,5	0,25	0,96	326,4
13,0	0,50	0,82	278,8
19,5	0,75	0,67	227,8
26,0	1,00	0,55	187,0
32,5	1,25	0,46	156,4
39,0	1,50	0,40	136,0
45,5	1,75	0,35	119,0
52,0	2,00	0,31	105,0
78,0	3,00	0,21	71,4

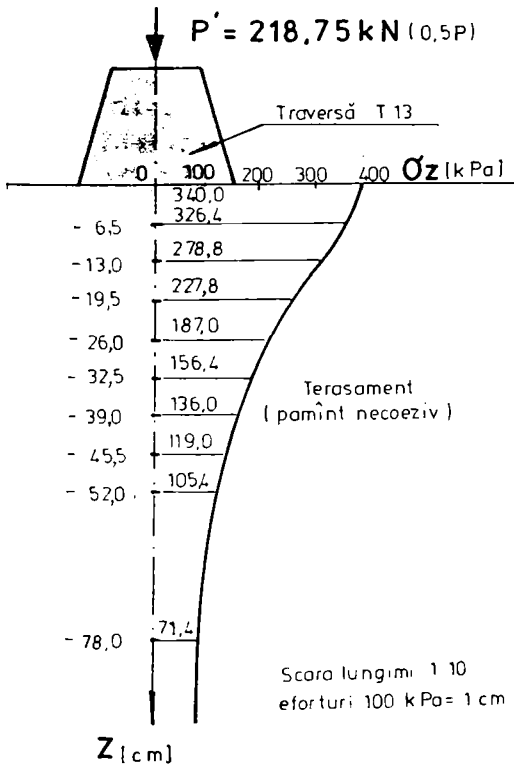


Fig. 3.19. Distribuția eforturilor sub talpa traversei.

S-a neglijat influența presiunii din greutatea proprie a pământului deoarece la 78 cm adâncime ea are valoarea de 14 kPa, valoare ce nu poate influența rezultatele raționamentului făcut.

Din diagramă (fig. 3.19) și tabelul 3.5 rezultă că în cazul în care traversa ar rezema direct pe terasament, portanța acestuia este cu mult depășită, circulația materialului rulant fiind imposibilă. Rezultă de asemenea că apar valori ale presiunilor ce pot fi preluate de terasamentele obișnuite

în condiții de siguranță (circa 100 kPa) la adâncimi de peste 50 cm sub talpa traversei. Din această cauză, este necesar ca pe grosimea respectivă să se prevadă un material care să poată prelua în bune condiții și fără a fi influențat de nici-un factor exterior (hidrologic, meteorologic, de trafic etc.) de-a lungul întregii perioade de serviciu, ceea ce a determinat introducerea prisme căii, la început din balast și apoi din piatră spartă, și apoi a substratului căii. Din considerente de stabilitate a căii, este necesar ca traversele să fie pozate pe un pat din piatră spartă cu grosimea de 15...30 cm. În cazul în care piatra spartă este așezată direct pe terasament (fig. 3.20), se observă că la grosi-

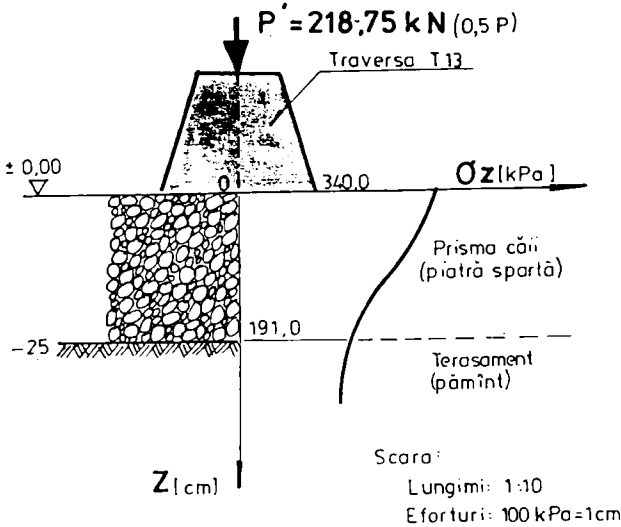


Fig. 3.20. Distribuția eforturilor în terasament în cazul unui strat intermediar (prisma oăii).

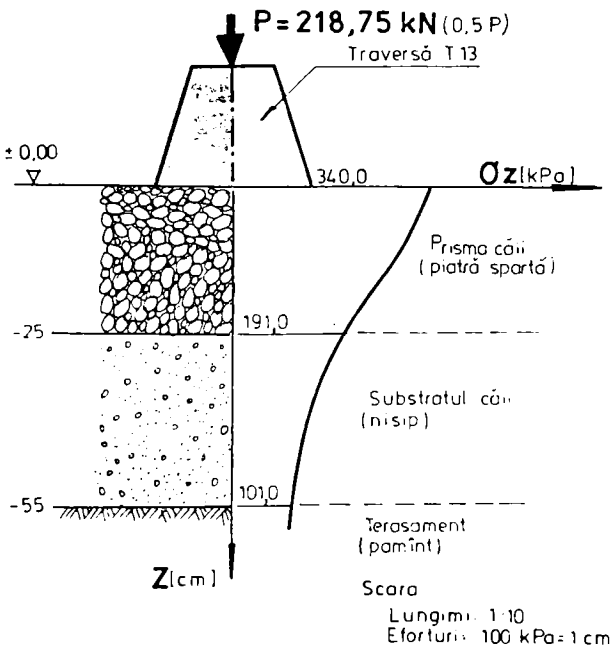
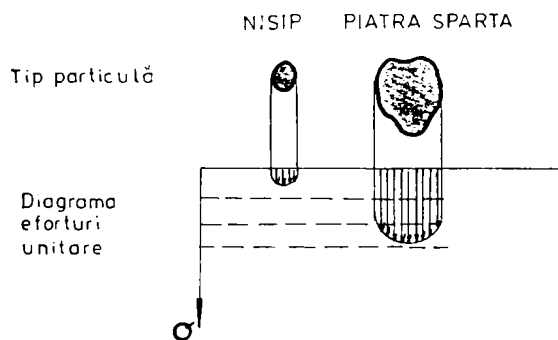


Fig. 3.21. Distribuția eforturilor în terasament în cazul a două straturi intermediare (prisma oăii și substrat).

mile preconizate, presiunile ce se dezvoltă la nivelul terasamentului au valoarea de 191 kPa, deci depășesc și în acest caz portanța terasamentului (admisă de obicei ca 100 kPa). Din rațiuni ce țin de protecția terasamentului ca și a celor de ordin economic, nu este indicat ca grosimea sub talpa traversei să fie realizată numai din piatră spartă, ci și cu alte materiale care să fie capabile de un comportament corespunzător, dar mult mai ieftine. Materialele care răspund cel mai bine acestor cerințe sînt balastul de rîu și nisipul. Ele sînt capabile să preia toate sarcinile care sînt supuse, fiind nealterabile în timp și mai ieftine de 2...3 ori decît piatră spartă. Astfel, prin introducerea unui strat din nisip (fig. 3.21) cu grosimea de circa 30 cm, presiunile efec-

otive pe terasament nu depășesc portanța acestuia.

Din analiza prismeî din piatră spartă, rezultă ca necesar eliminarea contactului direct piatră spartă-pământ și înlocuirea lui cu balast de rîu, ajungîndu-se astfel la contactul balast-pământ, aceasta fiind necesară și pentru eliminarea concentratorilor de efort ce sînt generați de colțurile ascuțite ale pietrei sparte precum și de dimensiunile mari ale granulelor din piatră spartă comparativ cu cele din nisip. Aplicînd teoriile generale din rezistența materialelor referi-



toare la distribuția eforturilor unitare pentru cazul unei particule din nisip și a uneia din piatră spartă (fig. 3.22), rezultă că în primul caz eforturile unitare ce se dezvoltă sînt mai mici și mai uniforme în comparație cu cel de al doilea caz. Rezultă că atunci cînd pe terasament este așezat nisip, valoarea presiunilor preluate de terasament este mai mică și mai uniformă decît atunci cînd

Fig. 3.22. Schematizarea influenței dimensiunii și formei granulei asupra distribuției eforturilor.

se așează direct piatră spartă, ca urmare a eliminării vîrfurilor din diagramele de eforturi.

Pe lîngă reducerea eforturilor ce are loc în substrat, fenomen ce face posibilă utilizarea unei game largi de pămînturi la executarea terasamentelor precum și eliminarea concentratorilor de eforturi, substratul are și rolul de uniformizare a eforturilor ce se transmit terasamentului. Astfel, acțiunile ce se transmit infrastructurii prin traverse (care nu formează un pat continuu, ci sînt așezate la distanțe de 50...80 cm), la nivelul feței superioare a terasamentelor nu se mai observă această discontinuitate, presiunile ce apar fiind relativ uniforme (fig. 3. 25).

Modul în care are loc uniformizarea eforturilor în substrat este relevat de diagramele de eforturi unitare verticale la diverse niveluri. Pentru punerea în evidență a distribuției eforturilor sub traverse s-au ales aceleași elemente care s-au adoptat în cazul determinării eforturilor în adîncime, respectiv încărcare pe osie, coefici-

ent dinamic și metodă de calcul. Nivelurile la care s-au determinat eforturile sînt corespunzătoare adîncimii de 26, 52 și 78 cm sub talpa traversei, valorile calculate fiind prezentate în tabelul 3.6

TABELUL 3.6
VALOAREA EFORTURILOR LA DIVERSE NIVELURI SUB TALPA TRAVERSEI
INCARCATA DIRECT (50% din P)

X [cm] (distanța față de ax)	$\frac{x}{b}$	I_5^1	σ_z^1 [kPa] (la - 26 cm)	I_5^2	σ_z^2 [kPa] (la - 52 cm)	I_5^3	σ_z^3 [kPa] (la - 78 cm)
0	0	0,55	187,0	0,31	105,4	0,21	71,4
6,5	0,25	0,51	173,4	0,31	105,4	0,21	71,4
13,0	0,50	0,41	139,4	0,28	95,2	0,20	68,0
26,0	1,00	0,19	64,6	0,20	68,0	0,17	57,8
39,0	1,50	0,07	23,8	0,13	44,2	0,13	44,2
52,0	2,00	0,03	10,2	0,08	27,0	0,10	34,0
65,0	2,50	0,01	3,4	0,04	13,6	0,06	20,4

unde:

I_5^1 , I_5^2 și I_5^3 sînt coeficienții de influență pentru adîncimea de 26, 52 și respectiv 78 cm sub talpa traversei, intabulați [71];
 σ_z^1 , σ_z^2 și σ_z^3 sînt eforturile unitare la diverse distanțe de axul vertical al traversei, la adîncimea de 26, 52 și respectiv 78 cm sub talpa traversei, exprimate în kPa.

Analiza tabelului 3.6 precum și a diagramei întocmite pe baza lui (fig. 3.23), relevă că pe măsură ce crește distanța dintre talpa traversei și planul în care se analizează eforturile, are loc aplatizarea tot mai pronunțată a eforturilor respective (deci scad și se uniformizează cu adîncimea). Astfel, dacă la 26 cm sub talpa traversei și în axul acesteia (aproximativ la baza stratului din piatră spartă) efortul unitar este de 187 kPa iar la același nivel dar la 65 cm distanță de ax el este de 3,4 kPa, adică 1,8% din cel din ax, la adîncimea de 78 cm sub talpa traversei (zona platformei căii), diferența între valorile calculate în axul traversei și la 65 cm distanță de aceasta, este numai de 28,57%, valorile fiind de 71,4 și 20,4 kPa. Apare evidentă uniformizarea eforturilor ce se produce în substrat, astfel înoft presiunile ce apar la nivelul terasamentului sub traversa încărcată sînt destul de apropiate de cele ce apar în spațiul dintre traverse.

Modul în care se produce reducerea și uniformizarea eforturilor dinamice produse de trafic pe înălțimea substratului devine și

mai pregnantă în situația în care se are în vedere și conlucrarea cu traversele adiacente celei direct încărcate.

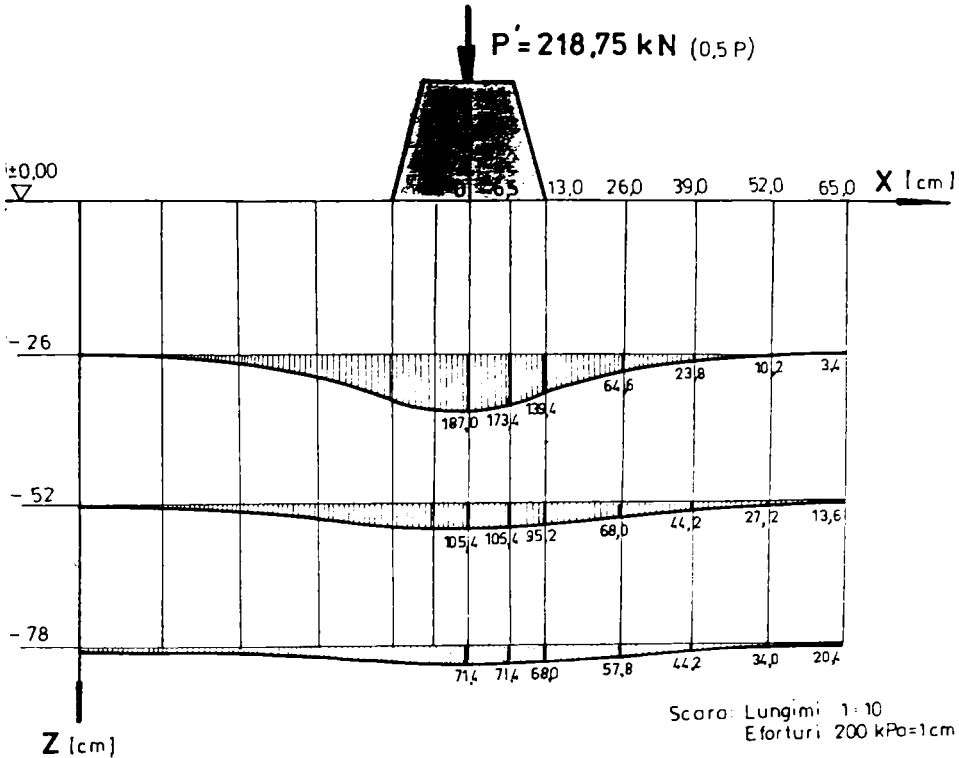
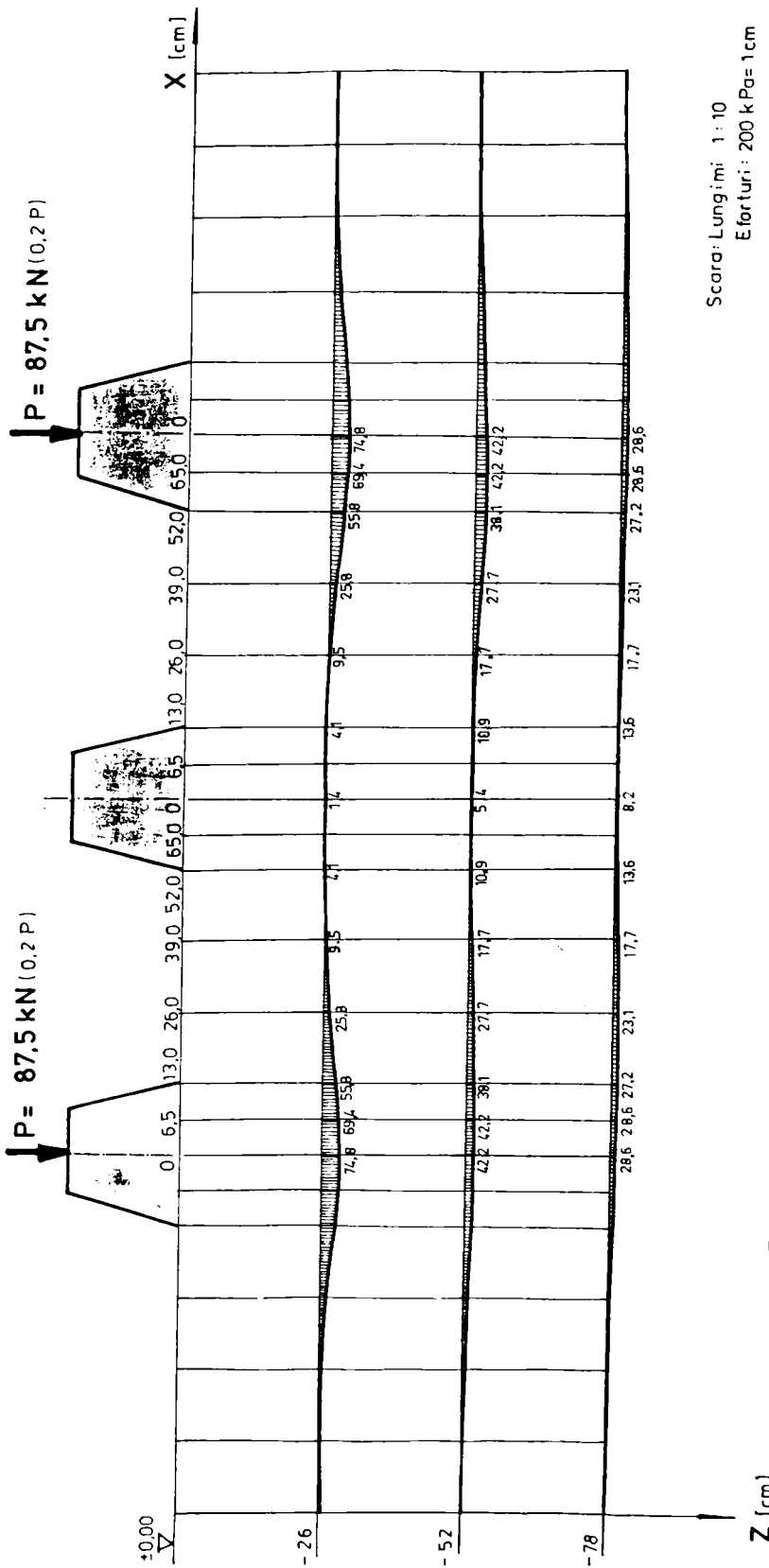


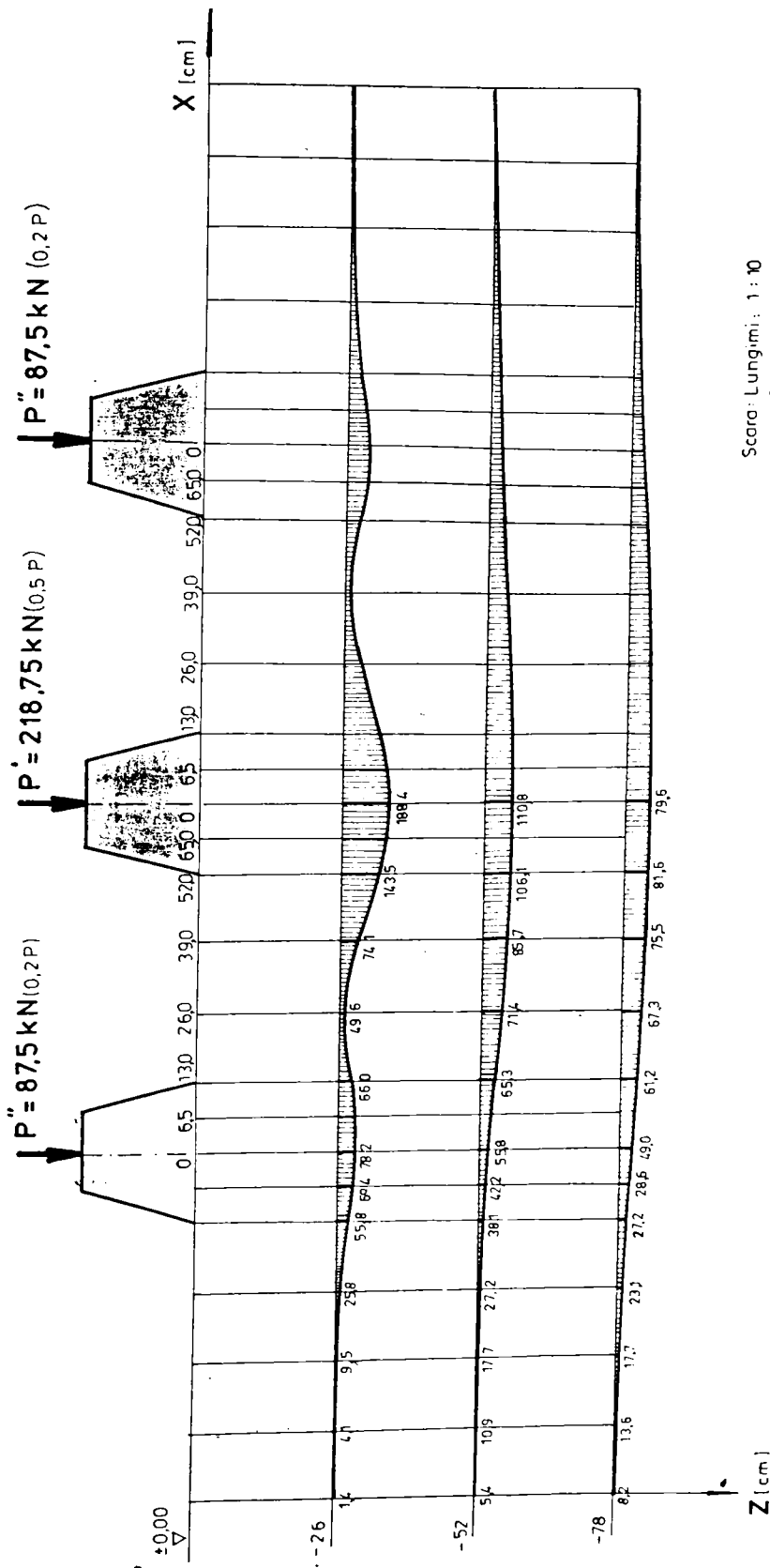
Fig. 3.23. Distribuția eforturilor la diverse niveluri sub traversa direct încărcată kPa .

Funcție de rigiditatea căii, traversele adiacente celei direct încărcate se consideră că preiau între 10...30% din acțiune [44], [136], în cazul de față luându-se în calcul 20%. În aceste condiții, valorile eforturilor la diverse adâncimi în axul traverselor adiacente celei direct încărcate (tabelul 3.7) este mai mică de 2,5 ori față de valorile aferente traversei direct încărcate (tabelul 3.6, valorile fiind rotunjite la precizie de 0,1 kPa). Considerând că traversele sînt dispuse la o distanță interax de 65 cm, pe baza elementelor din tabelul 3.7 s-a reprezentat distribuția eforturilor la diverse niveluri sub talpa traverselor adiacente celei direct încărcate (fig. 3.24), iar prin suprapunerea acesteia cu cea obținută în cazul traversei direct încărcate (fig. 3.23), a rezultat distribuția eforturilor la diverse adâncimi sub traversa încărcată direct și a celor adiacente (fig. 3.25). Analiza acestor diagrame relevă că pe măsură



Scară: Lungimi 1 : 10
 Eforturi : 200 kPa = 1 cm

Fig.3.24. Distribuția eforturilor la diverse niveluri sub talpa
 traverselor adiacente celei direct încărcate (kPa).



Scara: Lungimi: 1 : 10
 Eforturi: 200 kPa = 1 cm

Fig. 3.25. Distribuția eforturilor la diverse niveluri sub traversa direct încărcată și cele adiacente [kPa].

ce crește distanța dintre talpa traverselor și nivelul cercetat, are loc pe lângă reducerea accentuată a eforturilor, și uniformizarea acestora. Astfel, dacă la 26 cm sub talpa traverselor efortul

TABELUL 3.7

VALOAREA EFORTURILOR LA DIVERSE NIVELURI SUB TALPA TRAVERSELOR ADIACENTE CELEI INCARCATE DIRECT (20% din P)

X [cm] (distanța față de ax)	σ_z^1 [kPa] (la - 26 cm)	σ_z^2 [kPa] (la - 52 cm)	σ_z^3 [kPa] (la - 78 cm)
0	74,8	42,2	28,6
6.5	69,4	42,2	28,6
13.0	55,8	38,7	27,2
26.0	25,8	27,2	23,1
39.0	9,5	17,7	17,7
52.0	4,1	10,9	13,6
65.0	1,4	5,4	8,2

ce ia naștere în axul traversei direct încărcate de roată este mai mare de 2,4 ori decât cel din axul traversei adiacente, la 78 cm adâncime, acest raport este de numai 1,6, ceea ce materializează efectul de uniformizare a presiunilor de către substratul căii.

Studiile efectuate de către autor referitoare la funcția de transmitere, reducere și uniformizare a eforturilor di-

namice produse de trafic a substratului, evidențiază caracteristicile acțiunilor la care sînt supuse infrastructurile, ceea ce justifică și aspectul capacității portante a terasamentului și substratului căii, necesitatea realizării substratului ca element component al infrastructurii căii.

3.4.2. Cu privire la stabilirea grosimii optime a substratului căii sub aspectul capacității portante

Pe lângă abordarea teoretică a funcției analizate anterior, autorul a studiat și obținerea unor elemente cu caracter practic, de dimensionare a substratului. În acest sens, s-a pornit de la ideea că o dimensionare rațională a substratului (în cazul de față grosimea acestuia) se poate obține plecîndu-se de la caracteristicile efective ale terasamentului. De aceea s-a luat în studiu metoda de dimensionare a grosimii straturilor drenante [127] de sub talpa traversei pe baza valorilor de penetrare obținute pe fața superioară a terasamentului căii, folosindu-se rezultatele penetrării și absența de dimensionare din Indrumătorul privind condițiile pe care trebuie să le îndeplinească platforma și terasamentele de cale ferată la circulația cu viteze mari și sarcoini pe osie sporite [178], fig.

3.26, curbile 1 și 3. Metoda [178] prezintă marele avantaj că permite determinarea grosimii substratului în condiții de teren reale, în sensul că pe baza portanței efective a terasamentului se stabilește în mod operativ înălțimea totală a materialelor drenante de sub talpa traversei (prisma căii și substrat). Scăzând grosimea stratului din piatră spartă (care în general are valori fixe, cuprinse între 15...30 cm, funcție de categoria liniei), rezultă cea a substratului. Un alt avantaj al metodei constă în operativitatea sa, fiind utilă atât la executarea cât și la întreținerea și reparația infrastructurilor feroviare.

Ca urmare a faptului că unele studii efectuate de autor [106] au relevat faptul că folosirea curbei 1 din figura 3.26 conduce în anumite situații la supradimensionarea substratului, ceea ce înseamnă scumpirea nejustificată a costurilor și reducerea stabilității căii sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic, a determinat pe autor să analizeze și să îmbunătățească metoda, aspect ce se prezintă în cele ce urmează. Se menționează faptul că de la metoda respectivă s-au reținut aparatul și principiile de lucru, autorul realizând o nouă curbă, 2, pe baza încercărilor proprii. Metoda studiată, respectiv curba 2, elimină dimensionările eronate ca urmare a existenței unor diferențe între ipotezele de calcul și situația reală din teren.

Metoda de dimensionare realizată de către specialiștii din Institutul de Cercetări și Proiectări Tehnologice în Transporturi București [127], [178], are la bază metoda CBR (Californian Bearing Ratio) folosită în unele țări pentru dimensionarea grosimii substratului căii și patul din piatră spartă la calea ferată și pentru stabilirea portanței terenurilor de fundare la drumuri.

În țara noastră, metoda de dimensionare pe baza indicelui de capacitate portantă s-a aplicat la lucrările de drumuri pentru determinarea portanței terenurilor pe care se așează fundațiile nerigide de drumuri, în vederea dimensionării acestora. Determinarea indicelui de capacitate portantă a terenului de fundație a fost reglementată prin STAS 2576 "Lucrări de drumuri. Determinarea indicelui de capacitate portantă a terenurilor de fundație" care este anulată în prezent ca urmare a introducerii altor metode de dimensionare. Introducerea unei metode operative de dimensionare precum și absența aparatului de laborator specifice pentru determinarea indicelui de capacitate portantă CBR au fost motivele pentru care specialiștii din ICPTT au cercetat corelația directă dintre portanța terasamentului stabilită cu penetrometrul static și grosimea straturilor drenante de sub talpa

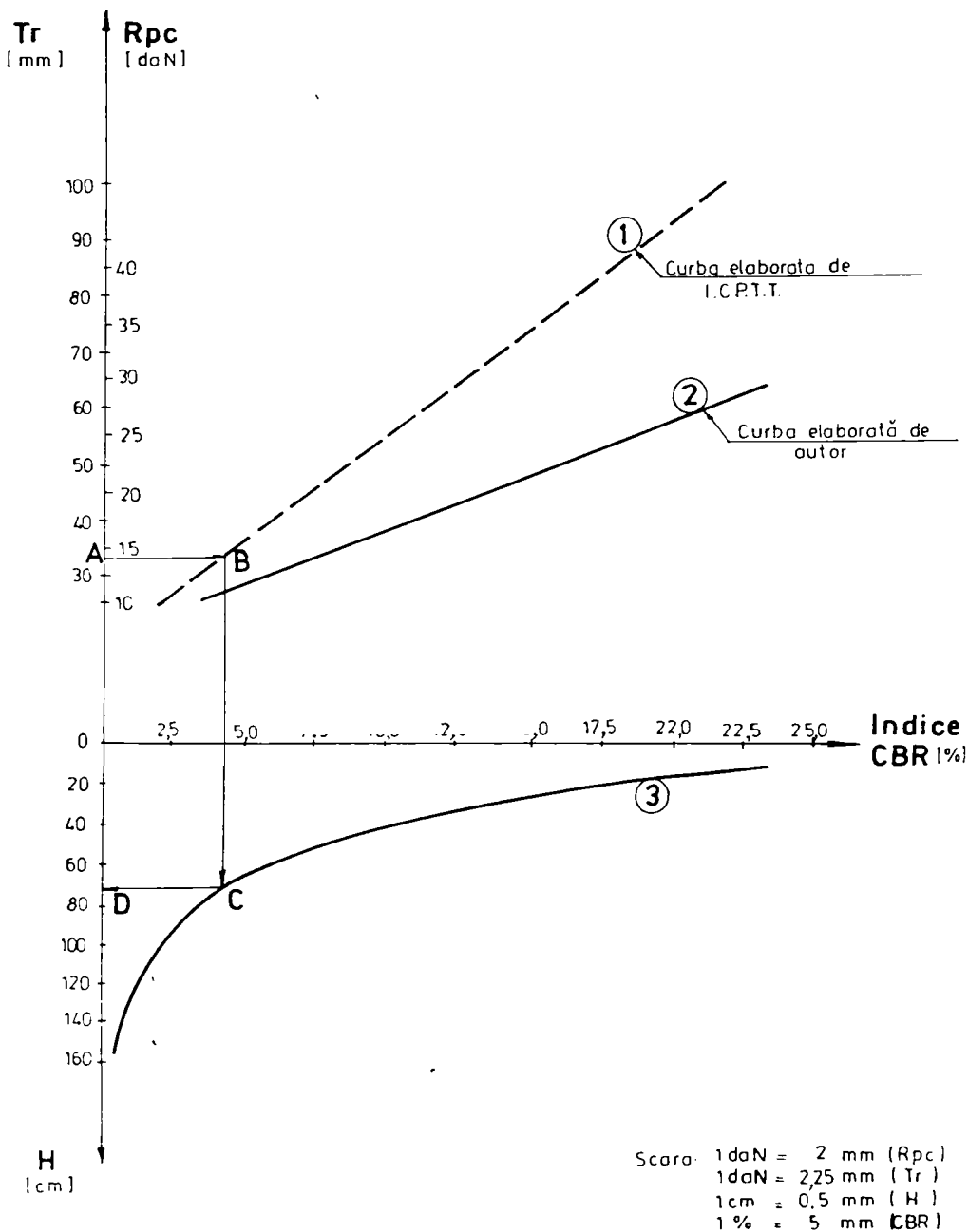


Fig. 3.26. Abaca pentru dimensionarea grosimii straturilor drenante de sub talpa traversei.

LEGENDA

- R_{pc} = Rezistenta la penetrare
- Tr = Tasare resort penetrametru
- H = Grosimea straturilor drenante sub talpa traversei
- CBR % = Indice de capacitate portanta CBR.

traversei, eliminându-se determinarea indicelui CBR.

Conform STAS 2576, prin indicele de capacitate portantă se înțelege raportul, exprimat în procente, între presiunea necesară pentru penetrarea unei probe din acel teren, pregătită în laborator după un anumit procedeu și presiunea necesară pentru a obține aceeași penetrare într-un macadam tip.

Aparatura de laborator pentru determinarea indicelui de capacitate portantă se compune din: formă cilindrică cu diametrul interior de 152 mm și înălțimea de 180 mm cu placă de fund perforată, disc de distanțare ce se utilizează ca fund dublu al formei în timpul compactării, mai de compactare de 4500 g, aparat pentru determinarea umflării, greutatea inelare de 3000 g, piston de penetrare, presă cu aplicare continuă a încălzirii cu capacitatea de 50 kN, aparatură diversă: malaxor, cadă pentru înecare probe, balanță, exicator, spatule etc.

Pentru pregătirea probei în vederea penetrării sînt necesare următoarele operații: pregătirea materialului, determinarea umidității optime de compactare, compactarea probei pentru penetrare, înecarea probei.

Pentru penetrarea probei saturate cu apă în urma înecării, se așează greutatea inelare de 6000 g în golul cărora se introduce pistonul de penetrare. Se încarcă inițial pistonul de penetrare cu 5000 g și se aduc la zero microcompasul și manometrul preseii. Se începe penetrarea probei cu viteză constantă de 1,27 mm/minut, citindu-se presiunile corespunzătoare penetrărilor de 2,54 mm, 5,08 mm și 7,62 mm.

Indicele de capacitate portantă se calculează raportînd, în procente, presiunile citite pe la încălzirile făcute pe proba analizată, la presiunile p_m corespunzătoare penetrării respective (conform tabelului 3.8).

TABELUL 3.8

CORRESPONDENȚA PENETRARE-PRESIUNE
LA DETERMINAREA INDICELUI CBR

PENETRARE [mm]	PRESIUNE p_m [kPa]
2,54	7030
5,08	10550
7,62	13360

Pentru explicitare se exemplifică mai jos: pornind de la presiunile p_m de 7030, 10550 și 13360 kPa, care sînt presiuni corespunzătoare penetrărilor de 2,54, 5,08 și 7,62 mm pe un macadam tip și dacă pe aceste presiuni în kPa citite la manometrul preseii pentru o penetrare de 2,54 mm pe proba ana-

lizată, atunci indicele de capacitate portantă CBR în procente co-

responsător va fi:

$$\text{I.C.P. \%} = \frac{p \cdot 100}{19,24 \cdot 7030} \quad (3.21)$$

în care 19,24 reprezintă suprafața bazei pistonului, în cm^2 .

Prin stabilirea metodei de dimensionare analizate [127], [178] s-a căutat să se stabilească relația între indicele de capacitate portantă CBR și o caracteristică care se poate determina relativ ușor în teren, respectiv rezistența la penetrare statică. Punctul de plecare al cercetărilor [127] l-a constituit curba de dimensionare a straturilor drenante de sub talpa traversei funcție de indicele de capacitate portantă CBR (fig. 3.27).

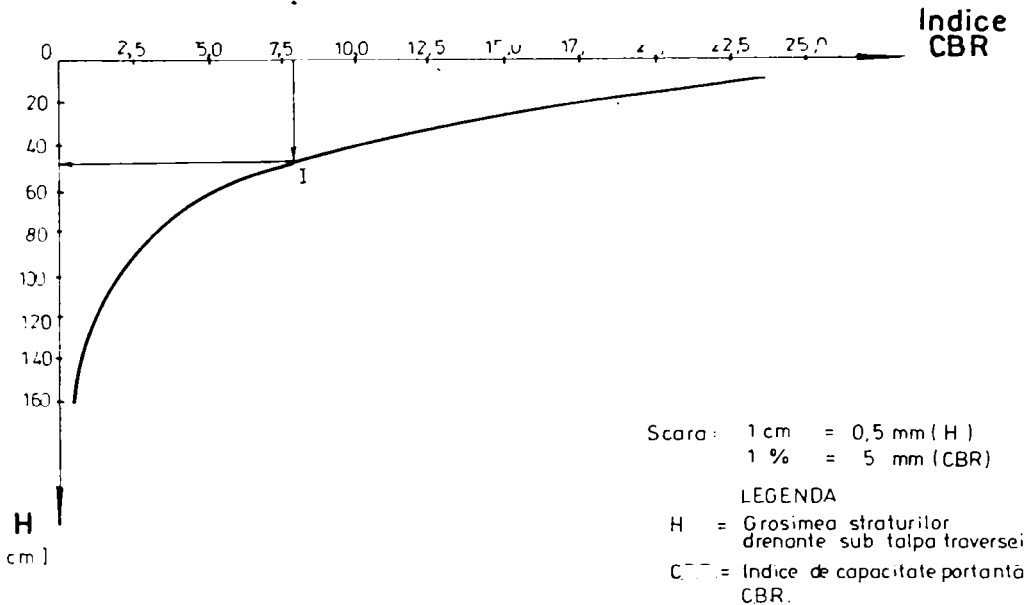


Fig. 3.27. Curba de dimensionare a grosimii straturilor drenante de sub talpa traversei pe baza indicelui de capacitate portantă CBR [127].

Folosirea diagramei (fig. 3.27) constă în determinarea indicelui CBR [178], se notează pe abscisă valoarea găsită, se duce paralelă la ordonată pînă la intersecția curbei (punctul I) de unde se duce paralelă la abscisă și se citește pe ordonată grosimea straturilor drenante de sub talpa traversei. De exemplu, la o valoare a indicelui CBR de 8%, corespunde o grosime totală a straturilor drenante (rotunjită) de 50 cm (fig. 3.27). Considerînd că

piatra spartă are grosimea de 25 cm, rezultă pentru substrat o valoare de 25 cm.

Pentru stabilirea relației între indicii CBR și rezistențele la penetrare [127], au fost executate încercări de penetrare în cilindrul aparatului CBR în paralel cu încercări de determinare a indicelui de capacitate portantă CBR. Intre parametrii de penetrare și CBR a rezultat o corelație lineară (fig. 3.28). Prin alăturarea celor două diagrame (fig. 3.27 și 3.28) pe axa aferentă indicelui CBR, a rezultat abaca de dimensionare prezentată în figura 3.26 (curbele 1 și 3).

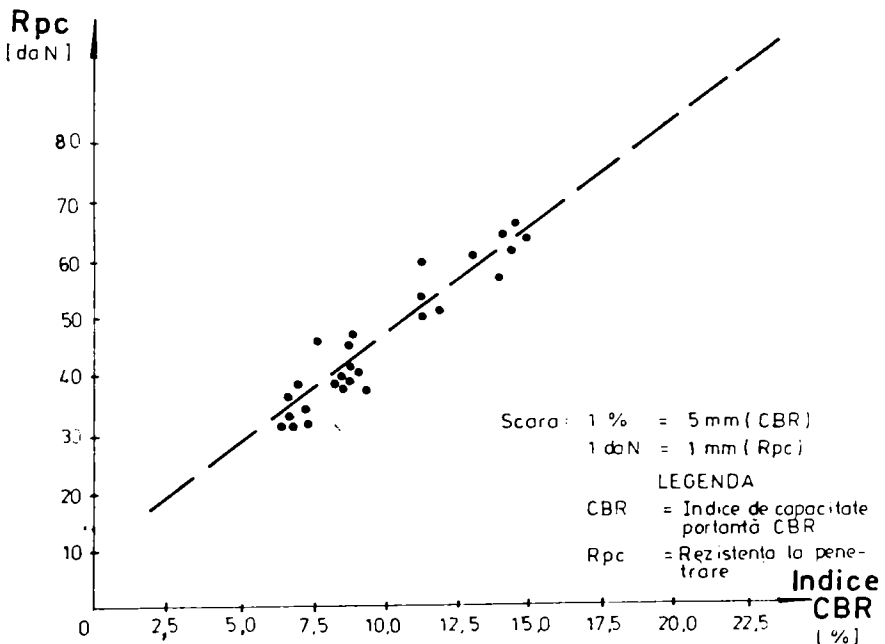


Fig. 3.28. Diagrama de stabilire a corelației între indicele CBR și rezistența la penetrare [127].

Această abacă a fost stabilită la ICPTP în anul 1969 și aplicată fără nici-o modificare sau îmbunătățire până în anul 1975, când pe baza studiilor efectuate de autor [106] s-au adus unele corecții în scopul eliminării supradimensionării ce s-a constatat în unele situații, realizându-se o nouă curbă (2 din figura 3.26) folosită la dimensionare împreună cu curba 3.

Conform metodei de dimensionare (fig. 3.26, curbele 1 și 3), grosimea straturilor drenante de sub talpa traversei se calculează

În acest fel:

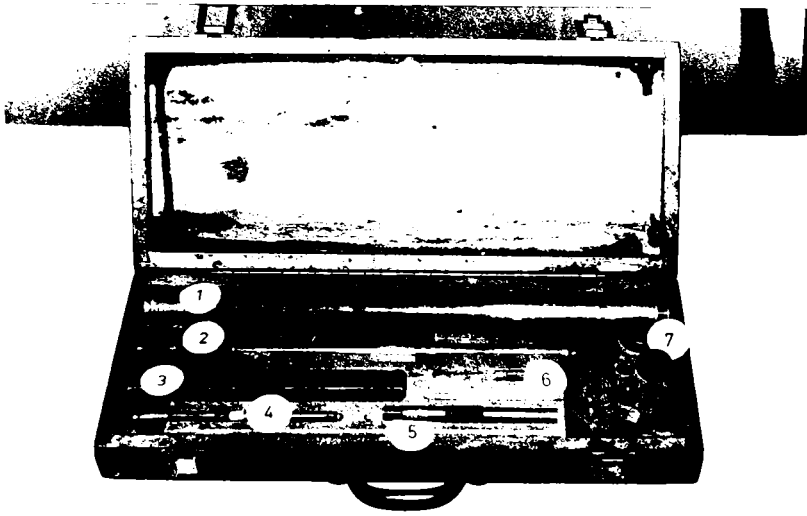
- se fac penetrări statice pe teren;
- valorile de penetrare obținute din măsurătorile din teren se introduc în abacă, obținându-se grosimea totală a straturilor drenante de sub talpa traversei;
- dacă de exemplu rezistența medie la penetrare obținută este de 15 daN, din punctul corespunzător acestei valori (punctul A din figura 3.26) se duce o paralelă la abscisă până la intersecția dreptei 1 (punctul B), de unde se coboară paralelă la ordonată până la atingerea curbei 3 (punctul C), paralela dusă la abscisă prin punctul C permitând determinarea punctului D care stabilește grosimea straturilor drenante de sub talpa traversei. În exemplul ales, grosimea totală a acestor straturi este de 73 cm, rotunjit 75 cm. Scăzând 30 cm ce reprezintă grosimea stratului din piatră spartă, rezultă 45 cm grosimea substratului căii.

Autorul a considerat că această supradimensionare a straturilor de sub traversă apare ca urmare a faptului că specialiștii care au conceput nomograma inițială au avut în vedere un coeficient de siguranță mai mare (lucru normal în cazul introducerii unei metode noi de calcul), precum și datorită faptului că cercetările fiind efectuate numai în laborator, au fost influențate de limitele și dezavantajele acestui mod de lucru comparativ cu determinările din cale la soară naturală. De asemenea, este posibil ca supradimensionarea să apară și datorită faptului că indicele CBR se determină pe probe saturate, fenomen ce apare foarte rar în cale.

În consecință, autorul a apreciat ca necesar studiul cu privire la îmbunătățirea abacei de dimensionare stabilite de ICPTT, rezolvarea acestui aspect prezentându-se în paragraful următor.

3.4.3. Studii în vederea îmbunătățirii abacei ICPTT de dimensionare a grosimii substratului sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic

Autorul a abordat studiile prin efectuarea unor observații făcute pe trosoanele care au fost bine executate și s-au comportat corespunzător în timp sub acțiunea factorilor de trafic și hidrometeorologici. Activitatea pe teren a constat în efectuarea de penetrări statice în sondaje deschise practicate între traverse până la fața superioară a terasamentului (fig. 2.1) cu penetrometrul static ușor tip Proctor, model ICPTT București (fig. 3.29). În acest scop,



Trusa penetrometru.



Penetrometrul în stare
de funcționare.

Fig. 3.29.

Penetrometrul tip ICPTT.

1. cilindru cu arc;
2. piston;
3. mâner;
- 4, 5. tije suport pentru
pastile;
6. piuliță fluture;
7. pastile penetrare.

după atingerea în sondaj a feței superioare a terasamentului, s-a efectuat nivelarea acestei fețe, astfel încât întreaga bază a sondajului să fie plană și constituită numai din pământ netulburat, materializându-se locurile de penetrare ($P_1 \dots P_8$).

Penetrometrul tip ICPTT se compune dintr-un cilindru în care oulizează un piston ce are atașată o tijă înregistratoare. Pistonul servește la transmiterea efortului prin intermediul unui arc la tija de penetrare care este prevăzută cu pastile de penetrare. Constanta elastică k a arcului penetrometrului utilizat este $2,25 \text{ mm/daN}$. Caracteristicile pastilei cu care s-a făcut studiul autorul sînt următoarele:

- diametrul = $9,1 \text{ mm}$;
- suprafața = $0,65 \text{ cm}^2$;
- înălțimea = $12,7 \text{ mm}$.

Prin intermediul unui creion, se înregistrează pe fișa de penetrare mărimea tasării arcului, tasare care este direct proporțională cu portanța terasamentului. Citirile se pot face și direct, cu ajutorul limitatorului de cursă care se autoblochează la încheierea fiecărei penetrări, determinările de teren efectuate de autor fiind stabilite în acest mod.

Înainte de efectuarea penetrărilor s-a fost necesară etalonarea penetrometrului prin stabilirea mărimii tasării arcului în funcție de forța aplicată. Pentru aceasta, s-a încărcat treptat penetrometrul cu greutăți etalonate și s-au măsurat tasările. După prima etalonare, s-au făcut încărcări ciclice și s-a reetalonat penetrometrul după fiecare ciclu. Aceste reetalonări s-au făcut astfel:

- după 10 încărcări-descărcări;
- după 100 încărcări-descărcări;
- după 300 încărcări-descărcări;
- după 500 încărcări-descărcări;
- după 1.000 încărcări-descărcări;

Penetrometrul a rezultat ca fiind corespunzător deoarece rezultatele reetalonărilor au fost identice între ele și cu prima etalonare. Ca etalon de comparație s-a folosit un penetrometru model Soiltest.

Cercetările s-au făcut pe troscoanele de oale pe care s-au făcut și studiile referitoare la funcția de filtru invers a substratului, autorul urmărind modul în care substratul corespunzător sub aspect granulometric asigură protecția terasamentului sub influența solicitărilor dinamice apărute ca urmare a deplasării materialului rulant. Cercetările s-au efectuat în perioada aprilie-august 1973 pe mai multe magistrale de oale ferată cu sarcini grele de trafic și sub-

strat aflat în cale o perioadă lungă de timp (menționate în tabelul 3.9).

Etapela determinării rezistenței la penetrare a pământurilor din terasamente cu ajutorul penetrometrului tip ICPTT au fost următoarele:

- etalonarea în laborator a penetrometrului;
- practicarea sondajelor deschise pînă la fața superioară a terasamentului, între traverse, în zona de studiu (fig. 2.1);
- punerea penetrometrului în stare de funcționare (asamblare, montare limitator de cursă);
- așezarea penetrometrului în poziție verticală în punctele fixate pentru măsurători (fig. 2.1) și apăsarea penetrometrului pînă la pătrunderea în terasament a pastilei pe adîncimea de 75 mm, înregistrîndu-se valoarea rezistenței la penetrare (deplasarea limitatorului de cursă și autoblocarea lui în momentul atingerii valorii de penetrare). S-a ales adîncimea de penetrare de 75 mm deoarece autorul consideră că în acest mod sînt reflectate cît mai bine caracteristicile portante ale terasamentului ca urmare a eliminării fenomenelor de suprafață și neomogenităților (umidități neuniforme, corpuri străine etc.) ce pot denatura rezultatele măsurătorilor.

În fiecare amplasament s-au efectuat 6...8 penetrări (distribuite conform figurii 2.1) în vederea culegerii unor date cît mai exacte. Conform instrucțiunilor de utilizare a penetrometrului tip ICPTT [178], s-a făcut media selectivă a rezistențelor la penetrare de pe fiecare amplasament. Se menționează că s-au înregistrat două cazuri în care a fost necesară determinarea mediei selective (respectiv eliminarea valorilor cu abateri mai mari de 25% din rezistența medie), în rest recurgîndu-se la metoda mediei aritmetice ca urmare a omogenității valorilor măsurate.

De exemplu, pe linia II Buzău-Adjud la km 142+320, zonă pe care s-au observat discontinuități ale feței superioare a terasamentului, într-un punct de penetrare amplasat la capătul spre taluz (P_3 din figura 2.1), a rezultat o valoare cu mult mai mică decît cea a mediei generale, respectiv 9,04 daN ca urmare a faptului că în punctul respectiv apa staționa timp îndelungat. Celelalte valori măsurate au fost: 12,17 - 12,06 - 12,13 - 11,98 - 12,04 - 12,11 și 12,14 daN. În această situație s-a eliminat din calcul valoarea de 9,04 daN, valoarea penetrării medii rezultînd:

$$R_{po} \text{ med} = \frac{12,17 + 12,06 + 12,13 + 11,98 + 12,04 + 12,11 + 12,14}{7} = 12,09 \text{ daN}$$

De pe fiecare amplasament studiat, pe lângă datele de penetrație s-au mai analizat caracteristicile straturilor drenante (grosimile lor s-a măsurat cu precizia de 1 cm) precum și condițiile locale care pot influența portanța terasamentului, scurgerea apelor, calitatea întreținerii căii. Pe toate zonele luate în final în studiu nu s-a observat albieri ale feței terasamentului, aceasta producându-se numai în lungul traverselor numai în cazurile în care portanța terasamentului este depășită. Lipsa albierilor de acest tip denotă că pe secțiunile respective, grosimea materialelor drenante de sub talpa traversei a fost suficientă pentru a nu se depăși portanța terasamentului.

Discontinuitățile de pantă de pe unele trosoane au fost cauzate de vicii de execuție, deoarece nu a rezultat o corespondență între acestea și suprastructură, ele semnalandu-se la întimplare pe fața superioară a terasamentului.

După oulegerea datelor de teren, s-au determinat valorile medii ale penetrării (media aritmetică sau media selectivă unde a fost cazul), toate datele obținute fiind întabulate (tabelul 3.9).

Pe lângă identificarea amplasamentului (linia și poziția kilometrică), tabelul mai cuprinde grosimea măsurată a straturilor drenante de sub talpa traversei, valoarea rezistenței medii la penetrare măsurate, grosimea straturilor drenante rezultate pentru fiecare amplasament conform diagramei vechi de dimensionare (fig. 3.26, curbele 1 și 3) precum și unele observații cu caracter mai deosebit pentru unele amplasamente.

Referitor la aceste observații, se specifică următoarele:

- evacuarea lentă a apelor s-a semnalat pe zonele pe care stratul este alcătuit din nisip cu granulozitate mai mică sau din agregate zitivele de drenare sau scurgere sînt insuficient întreținute;
- în cazul terasamentelor bine întreținute, aceste dispozitive permit evacuarea rapidă a apei din zona platformei;
- prin prisma căii slab întreținută, s-a considerat cea colmatată cu material fin.

Comparînd valorile grosimii straturilor drenante măsurate la diverse amplasamente cu cele determinate prin curbele 1 și 3 din figura 3.26, rezultă că acestea din urmă sînt mai mari cu 30...40% majorare ce nu era necesară deoarece practica exploatarea a demonstrat pentru fiecare caz în parte că și la grosimi mai mici, respectiv cele existente în cale în momentul studiului (tabelul 3, coloana 3), terasamentele s-au comportat corespunzător.

Tinînd cont și de faptul că multe dintre valorile măsurate

**CENTRALIZATOR COMPARATIV INTRE GROSIMEA STRATURILOR
DRENANTE (TEREN SI REZULTATE DIN CALCUL)**

NR. SONDAJ	LINIA C.F.R.	KM	GROSIMEA STRATURILOR DIN PIATRA SPARTA SI NISIP(BALAST) AFLATE SUB TALPA TRAVESEI[cm]	REZISTENTA MEDIE LA PENETRARE LA FATA SUPERIOARA A TERASAMENTULUI [da N]	GROSIMEA STRATURILOR DIN PIATRA SPARTA SI NISIP(BALAST) CONFORM DIAGramei DE DIMENSIONARE DIN FIG.3.2.6. (CURBELE 1 SI 3)	OBSERVATII
			1	2	3	
1	II Bucuresti - Pitesti	48+810	60	13,22	85	
2	II Bucuresti - Pitesti	36+015	46	14,98	75	
3	II Buzău - Adjud	120+220	51	14,76	75	Evac. lentă a apelor
4	Adjud - Ciceu	68+030	69	11,97	105	
5	I Ploiești - Buzău	91+725	59	14,06	80	
6	I Adjud - Bacau	246+110	61	13,71	85	
7	I Roșiori - Caracal	131+550	45	14,49	75	Terasm. f. bine întret.
8	II Roșiori - Caracal	131+550	53	14,38	75	Terasm. f. bine întret.
9	Făurei - Tecuci	33+125	64	12,54	90	Prisma slab întret.
10	I Brăila - Galați	251+060	48	15,02	75	
11	II Brăila - Galați	251+060	61	13,68	85	
12	Făurei - Tecuci	14+515	58	13,12	85	Prisma slab întret.
13	II Făurei - Brăila	169+530	49	14,48	80	Substr. cenușă tocan
14	I Făurei - Brăila	172+610	70	11,83	100	
15	II Videle - Roșiori	52+120	48	14,70	75	
16	I Videle - Roșiori	54+815	54	13,41	85	
17	II Videle - Roșiori	59+070	48	14,04	80	Pante discontinu.
18	I București - Videle	32+025	62	14,18	80	
19	II București - Videle	34+615	48	14,16	75	
20	II Brăila - Galați	241+070	64	12,83	90	
21	II Buzău - Adjud	142+320	61	12,09	95	Pante discontinu.
22	I Buzău - Adjud	138+010	67	12,71	90	
23	Urziceni - Făurei	74+185	62	12,65	90	
24	Adjud - Ciceu	26+560	59	13,84	85	Evac. lentă a apelor
25	II Ploiești - Buzău	113+910	53	13,26	85	
26	I Buzău - Adjud	221+780	70	12,03	95	
27	Adjud - Ciceu	28+090	62	13,52	85	Evac. lentă a apelor
28	I București - Pitesti	73+540	62	13,22	85	Terasm. slab într.
29	II București - Pitesti	73+540	58	14,13	80	Terasm. slab într.
30	II Bucuresti - Pitesti	88+080	62	12,89	90	
31	II Buzău - Adjud	235+070	54	14,70	75	
32	I Buzău - Adjud	235+070	71	11,81	100	Pante discontinu.
33	I Brăila - Galați	258+160	52	14,19	80	
34	II Buzău - Adjud	231+425	56	13,62	85	

află la limita inferioară admisibilă din punct de vedere constructiv și tehnic, autorul a transpus pe abaca de dimensionare existența valorile rezistențelor medii de penetrare precum și valorile măsurate pentru grosimea straturilor drenante de sub talpa traversei. Pe baza concentrărilor de puncte rezultate (fig. 3.30) s-a trasat o dreaptă medie în această figură, care apoi a fost transpusă în figura 3.26 (notată cu 2). Aceasta permite determinarea grosimii minime a straturilor drenante de sub talpa traversei (pat din piatră spartă și substrat). Trasarea punctelor pe baza cărora s-a stabilit curba 2 s-a efectuat în felul următor (fig. 3.30):

- s-a trasat la scară mărită curba 3 (reluată din figura 3.26) acceptată ca valabilă în continuare pentru dimensionarea grosimii straturilor drenante de sub talpa traversei, precum și axele de lucru ale abacei respective. Pentru precizie mărită, s-a preluat numai tronsonul pe care sînt dispuse valorile din tabelul 3.9;

- pentru fiecare punct de studiu din tabelul 3.9 s-a făcut transpunerea în această diagramă. De exemplu, în cazul sondajului nr. 1 s-a trasat pe axa grosimii straturilor drenante valoarea aferentă, adică 61 cm, (punctul X) din punctul respectiv ducîndu-se o linie orizontală pînă la intersectarea curbei 3 (punctul Y). Din acest punct de intersecție s-a ridicat o verticală paralelă cu ordonate. La intersecția orizontalei duse din punctul W se reprezintă rezistența medie la penetrare din amplasamentul 11 cu verticala din punctul Y, rezultă punctul Z.

Punctele rezultate fiind concentrate pe o direcție prioritară, prin trasarea unui segment de dreaptă se reprezintă media lor, a rezultat dreapta 2.

Ca mod de lucru pentru dimensionare, nu există deosebiri între abaca veche și cea nouă, dar prin noua abacă se obțin reduceri ale grosimii totale a straturilor drenante de sub talpa traversei cu 30...40% (comparativ cu cea veche).

Prin modificarea abacei de dimensionare a grosimii straturilor drenante de sub talpa traversei, modificare ce are la bază verificarea comportării în exploatare a unor sectoare de calc aflate în serviciu de peste 8 ani și peste care s-a scurs un trafic minim de 7 milioane tone brute, rezultă importante economii de material drenant, creșterea stabilității substratului sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic precum și îmbunătățirea stabilității generale a căii.

Utilizarea abacei de dimensionare modificate (fig. 3.26, curbele 2 și 3) în cazul unor studii de dimensionare [151], [152] și [153] a

demonstrat eficiența economică și tehnică a acesteia față de vechea abacă (fig. 3.26, curbele 1 și 3) prin reducerea consumurilor de nisip și balast introduse în substrat, în condițiile în care calea s-a comportat corespunzător sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic.

3.4.4. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului căii ca element de transmitere, uniformizarea și reducerea eforturilor dinamice produse de trafic

Pe baza cercetărilor făcute pe teren și teoretic, autorul ajunge la unele concluzii utile în practica inginerescă și anume:

1. - studiile teoretice privind substratul căii sub aspect mecanic relevă că acesta preia, uniformizează și reduce solicitările, inclusiv cele dinamice, produse de materialul rulant precum și greutatea proprie a suprastructurii, transmitându-le terasamentului, fiind justificată și din acest punct de vedere introducerea sa ca element indispensabil al căii ferate, contribuind la rezistența, stabilitatea, durabilitatea și fiabilitatea căii, în condițiile reducerii cheltuielilor de construcție și întreținere;

2. - autorul a constatat că vechea abacă de dimensionare a grosimii straturilor drenante de sub talpa traversei (curbele 1 și 3 din figura 3.26) duce la supradimensionarea acestora, motiv pentru care s-a impus restudierea ei;

3. - pe baza analizei unor sectoare de cale cu substrat care s-a comportat corespunzător o îndelungată perioadă de serviciu, s-a realizat de către autor corecția abacei de dimensionare (curba 2 din figura 3.26). Aceasta, conform îndrumătorului provizoriu privind solicitările care se produc în terasamente la circulația cu viteze mari și condițiile pe care trebuie să le îndeplinească platforma și terasamentele [178], se aplică pe rețeaua CFR din anul 1979, conducând la reducerea cu 30...40% a produselor de balastieră. Tronsoanele de cale pe care s-a aplicat noua metodă de dimensionare, se comportă corespunzător, iar abaca stabilită de autor a căpătat caracter oficial, urmând să fie inclusă în normativul departamental privind execuția mecanizată a terasamentelor de cale ferată, CD

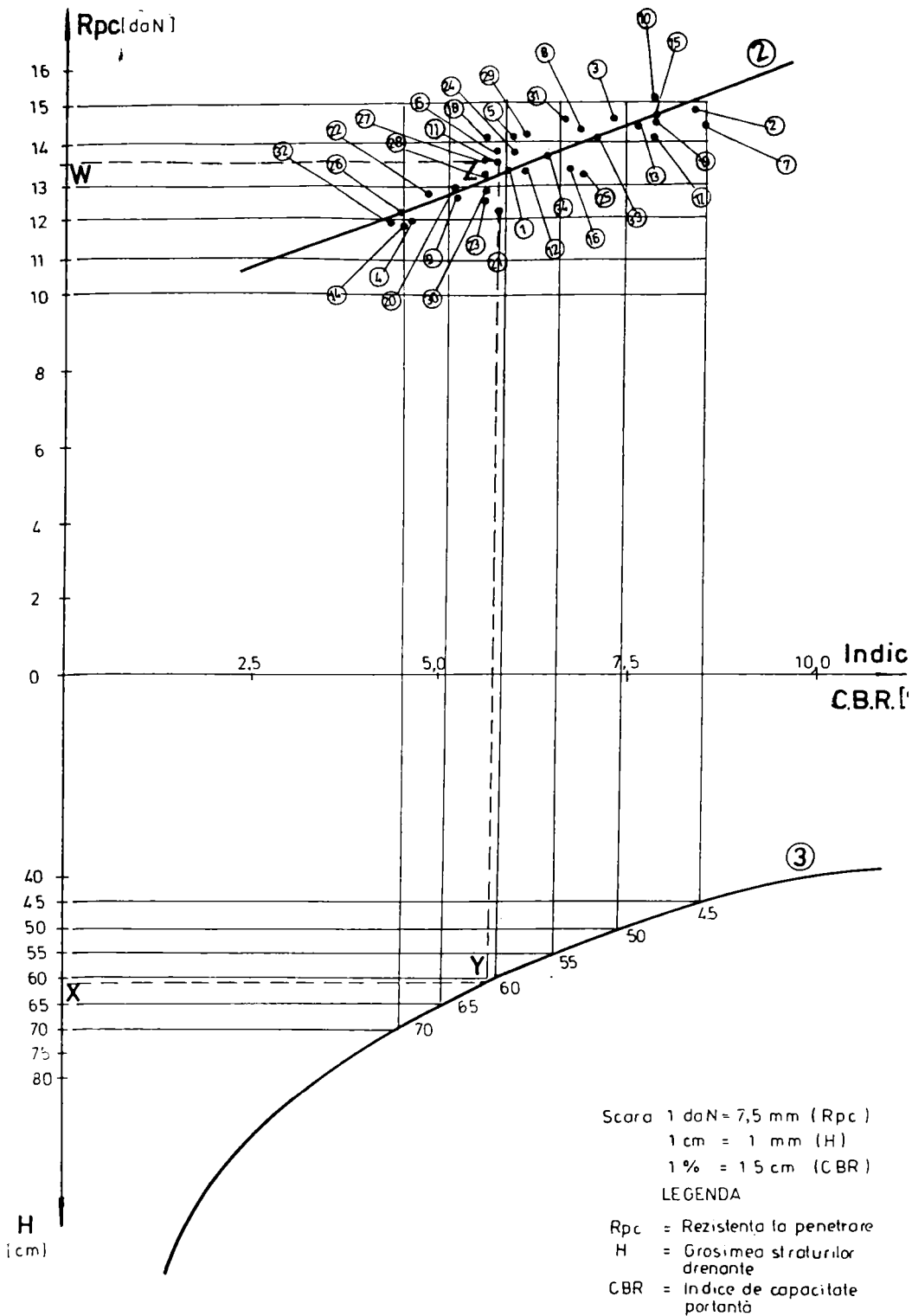


Fig.3.30. Stabilirea abacei de dimensionare a grosimii straturilor drenante sub talpa traversei (linia 2) pe baza rezistențelor la penetrare determinate in situ (detaliu).

3.5. STUDIUL SUBSTRATULUI CĂII CA AMORTIZOR AL VIBRAȚIILOR PRODUSE DE TRAFIC

3.5.1. Studii teoretice asupra funcției de amortizare a vibrațiilor produse de trafic

Studiul substratului căii sub acest aspect s-a apreciat că trebuie să aibă în vedere două laturi, și anume:

- modul în care se produce în substrat atenuarea vibrațiilor produse de circulația în regim dinamic a materialului rulant;
- influența acestor vibrații asupra stabilității generale a substratului.

Caracteristica principală a solicitărilor produse de trafic asupra suprastructurii și infrastructurii feroviare o constituie faptul că ele intervin dinamic, natura solicitărilor respective variind foarte mult de la un tren la altul, de la o zi la alta chiar, funcție de tipul materialului rulant, de starea timpului, de calitatea întreținerii căii [24], [30], [43]. Solicitățile dinamice apar în infrastructura căii atât ca urmare a derulării traficului feroviar, cât și ca urmare a transmiterii la cale a vibrațiilor și șocurilor ce apar la locomotive și vagoane [51]. Prima categorie de încărcări dinamice (cele din circulație) sînt generate în principal de tasearea elastică a suprastructurii sub greutatea transmisă de roți precum și de deformarea osiilor și roților materialului rulant. Șocurile și vibrațiile materialului rulant sînt provocate de demararea și frînarea acestuia, de încărcături necentrate, de suspensii neechilibrate sau defecte.

Ca urmare a solicitărilor de tip dinamic, autorul consideră că în cale apar vibrații care se transmit infrastructurii sub formă de unde, asemănător cu cazul general de producere și transmitere a vibrațiilor în pământuri [21] (prezentate în paragraful 1.1.4.2).

Pentru evidențierea necesității studiului dinamic al infrastructurilor feroviare și în primul rînd a substratului, autorul a aplicat teoria undelor de suprafață de tip Rayleigh [21] în cazul căii ferate. Viteza de propagare a acestor unde este:

$$v_R^2 = p^2 \frac{E_d}{2(1+\mu)\rho} \quad (3.22)$$

în care:

E_d este modulul de elasticitate dinamic al pământului din terasament, exprimat în daN/cm^2 ;

μ - coeficient de contracție transversală (al lui Poisson);

ρ - coeficient în funcție de ;

ρ - densitatea pământului, exprimată în daN/cm^3 ;

Considerînd undele longitudinale plane, adîncimile la care deplasările în direcție orizontală și respectiv verticală se anulează, sînt:

$$z_u = 1,12 \frac{b}{\omega} \quad (3.23)$$

$$z_w = 0,56 \frac{b}{\omega} \quad (3.24)$$

în care:

z_u este adîncimea pînă la care se anulează deplasările în direcție orizontală, exprimată în m;

z_w - adîncimea pînă la care se anulează deplasările în direcție verticală, exprimată în m;

b - viteza undelor transversale, exprimată în m/s;

ω - pulsația undelor perturbatoare, exprimată în s^{-1} ;

Determinarea adîncimii pînă la care se simte influența solicitărilor dinamice produse de trafic asupra infrastructurii căii, respectiv adîncimile pînă la care se anulează deplasările în direcție orizontală și verticală, s-a făcut în cazul de față pentru un terasament construit din argilă, caz destul de des întîlnit pe rețeaua CFR. În aceste pământuri, viteza undelor transversale "b" este de 300 m/s [21].

Pulsația sursei perturbatoare " ω " este funcție de frecvența vibrațiilor produse de materialul rulant. În cazul unui tren care se deplasează cu 140 km/h, adică 38,8 m/s și o distanță medie între axele osiilor de 4 m, rezultă că într-o secundă vor trece printr-un punct dat, un număr de:

$$\frac{38,8}{4} = 9,7 \text{ osii}$$

aceasta fiind de fapt și frecvența solicitărilor dinamice ce apar în cale ca urmare a tasării elastice a suprastructurii sub sarcinile din circulație. Pulsația solicitărilor dinamice ale căii se determină cu formula [21]:

$$\omega = 2\pi f \quad (3.25)$$

și are valoarea:

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 9,7 \text{ s}^{-1} = 60,916 \text{ s}^{-1}$$

Adâncimile la care se anulează deplasările în direcția orizontală și respectiv verticală sînt:

$$z_u = 1,12 \frac{300}{60,916} = 5,52 \text{ m}$$

$$z_w = 0,56 \frac{300}{60,916} = 2,76 \text{ m}$$

Comparînd aceste valori cu dimensiunile terasamentelor feroviare, 6,20 m lățimea platformei și 12...15 m înălțimea pînă la care terasamentele sînt mai economice decît viaductele, rezultă cã în special la înălțimi curente ale acestora, de 2...6 m, influența solicitărilor dinamice produse de trafic nu trebuie neglijată, luînd infrastructura în ansamblu. La înălțimi mai mari ale terasamentelor trebuie avută în vedere mai ales partea superioară a infrastructurii

Aflat imediat sub prisma cãii, substratul este cel mai expus oîmpului de acțiune al vibrațiilor, el trebuînd să producă amortizarea acestora și în același timp să fie stabil la acțiunea lor, fiind cunoscut faptul cã sub acțiunea solicitărilor dinamice are loc reducerea forțelor de frecare dintre particulele pămînturilor necoezive [9], [34], [48], [67], [104], [144], în anumite condiții ajungîndu-se pînă la curgerea pămînturilor respective [114].

3.5.2. Măsurători de vibrații efectuate sub circulația trenurilor

În vederea efectuării studiilor referitoare la comportamentul substratului cãii sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic, autorul a considerat cã cel mai indicat este să se pornească de la elemente dinamice specifice rețelei CFR. De aceea, s-au avut în vedere caracteristicile vibrațiilor obținute cu ocazia măsurătorilor în cale a solicitărilor dinamice produse de circulația materialului rulant cu viteze mari pe liniile CFR [24], [27], [30], [43], [44].

3.5.2.1. Tronsoanele, metodologia și aparatura de cercetare

Cercetările s-au efectuat în două etape, respectiv în anul

1969 pentru viteze maxime de 160 km/h și în anul 1976 pentru viteze pînă la 180 km/h de către ICPTT București. Sectorul de studiu pe care s-au efectuat măsurătorile a fost ales între stațiile Buda și Florești-Prahova de pe linia București-Brașov. Pe baza cercetărilor efectuate în anul 1969 s-au stabilit condițiile ce se impun căii și materialului rulant în vederea circulației cu viteze de pînă la 140 km/h. Experiențele cu 180 km/h au fost mai complexe și mai complete ca urmare a faptului că stit experiența cît și aparatura au fost mult mai bogate. Avînd în vedere și faptul că și solicitările căii au fost mai mari, în continuare se prezintă în special aceste măsurători.

Pe sectorul de cale ales pentru experimentări, linia s-a prezentat în bune condiții, cu încastrarea strictă a ei în normele și toleranțele admise de instrucții. Terasamentul este alcătuit dintr-o argilă prăfoasă plastic consistentă, cu conținut important de humus. Suprastructura căii era constituită din șină tip 49 introdusă în oale în anul 1964 și cu traverse din lemn (la joante) și beton precomprimat tip T 13, cu poza de 1.667 buc/km. Prisma căii era constituită din piatră spartă cu grosimi cuprinse între 30...35 cm sub care se afla un strat din nisip de rîu cu grosimea de 10...15 cm așezat la rîndul său pe un strat de 40...45 cm grosime alcătuit dintr-un amestec de balast de rîu amestecat cu un procent mic de piatră spartă (fig. 3.31). Calea era prevăzută cu plăci intermediare din polietilenă între șină și placa suport și între aceasta și traversă în cazul traverselor din beton și cu plăci din polietilenă între șină și traversă în cazul traverselor din lemn.

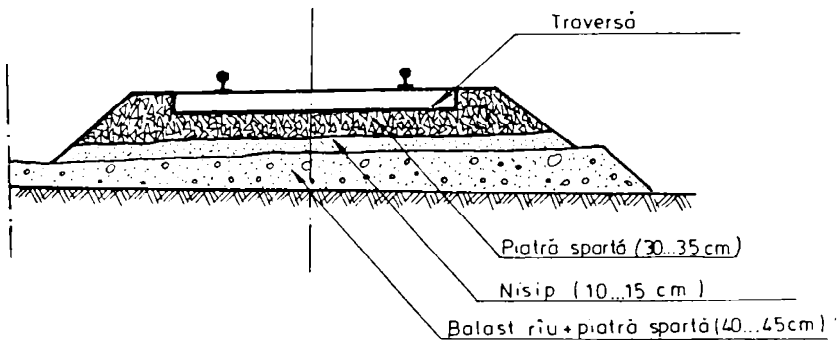


Fig. 3.31. Profil transversal prin linia I Ploiești-Brașov, km 70+000 - 82+000.

Garnitura de studiu a fost compusă dintr-o locomotivă electrică

echipată special și 7 vagoane de călători și vagoane laborator tip 74.000 echipate cu frâne disc.

Pentru măsurătorile de vibrații s-a utilizat un lanț de aparate electronice (fig. 3.32), elementele de preluare a vibrațiilor din cale fiind constituite din traductori piezoelectrici de tip KD 35 a, la care direcția principală de sensibilitate coincide cu axa.

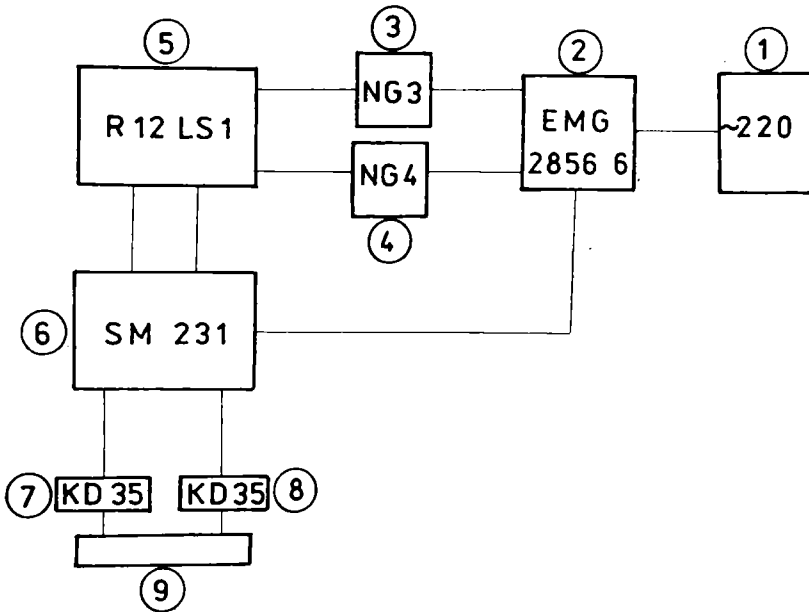


Fig. 3.32. Schema bloc cu aparatura folosită la măsurarea vibrațiilor în cale. (1.- sursă de alimentare curent; 2.- stabilizator de tensiune Orion; 3.- 4.- alimentare anexe oscilograf; 5.- înregistrator RFT; 6.- aparat de măsură a vibrațiilor; 7.- 8.- traductori piezoelectrici; 9.- șină, traversă).

Captorii piezoelectrici sînt asamblați în carcase metalice stabile, fiind insensibili la acțiunea unor mărimi perturbatoare exterioare, ca de exemplu: variațiile presiunii aerului, dilatarea obiectelor supuse măsurătorii. Pentru a se obține simultan atât accelerațiile verticale cît și cele orizontale, s-au confecționat suportii metalici multidirecționali pe care s-au montat senzorii piezoelectrici. Traductorii au fost montați pe șină, traverse și în prisma căii (fig. 3.33).

În cazul șinei, punctele de măsură au fost amplasate în zona axei neutre, în cazul traverselor în regiunea centrală și în apropierea liniei, iar pentru prisma căii, sub traversă, în dreptul șinei

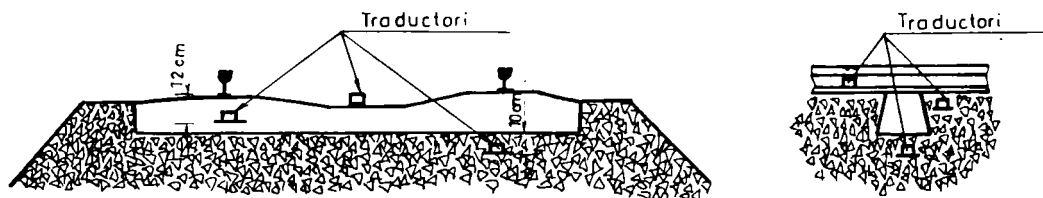


Fig. 3.33. Amplasarea traductorilor pentru măsurarea vibrațiilor în cale.

Măsurătorile, atât în aliniament cât și în curbe, s-au făcut cu diverse trepte de viteză, pentru acest caz fiind alese 10, 50, 70, 100, 160 și 180 km/h.

Pentru prelucrarea semnalelor transmise de traductorii KD 35 a. și amplificate de aparatura SM 231, a fost utilizat înregistratorul R 12 LS-1 (cu galvanometre tip Orion de diferite sensibilități) cuplat cu alimentatoarele NG 3 și NG 4 și înzestrat cu casetă etanșă la lumină, servind la introducerea benzii și la protecția acesteia după expunere. Acest tip de oscilograf efectuează înregistrări prin lumină ultravioletă, utilizând hîrtia fotosensibilă cu dezvoltare directă. Avînd în vedere condițiile specifice de lucru, s-au ales ca viteze de deplasare a rozelor 0,5 și 1,6 cm/s, în funcție de viteza de circulație a materialului rulant.

3.5.2.2. Rezultatele măsurătorilor de vibrații în cale

Valorile obținute în urma măsurătorilor la șină și traverse (tabelul 3.10) arată că accelerațiile la nivelul șinei cresc practic linear cu viteza, în ciuda dispersiei de rezultate (care nu depășesc limitele a maximum 10% din valorile maxime obținute). În punctele de măsură de la mijlocul panoului de cale s-au obținut accelerații maxime de 18g pentru locomotive și 15g pentru vagoane, iar accelerațiile medii pe direcție orizontală au atins valori de 14g și respectiv 10g. În același punct de măsură, accelerațiile maxime verticale au fost de 22g în cazul acțiunii locomotivei și de 21g în cazul acțiunii vagoanelor, în timp ce valorile medii corespunzătoare detelor de mai sus au ajuns la 16g și respectiv 15g.

Comparativ cu valorile determinate de alte administrații feroviare ce de exemplu din URSS [1] sau Japonia [8], unde accelerațiile medii

măsurate pe direcție verticală au atins valori de 30...50g, cele stabilite pe rețeaua CFR sînt mai reduse și ca urmare a faptului că pe sectorul respectiv calea era bine întreținută.

TABELUL 3.10

ACCELERATIILE VIBRATIILOR ELEMENTELOR CAII SUB CIRCULATIA MATERIALULUI RULANT

PUNCTUL DE MASURARE		TIPUL ACCELERATIEI		ORIZONTALE				VERTICALE			
				Locomotive		Vagoane		Locomotive		Vagoane	
				MAX.	MED.	MAX.	MED.	MAX.	MED.	MAX.	MED.
ALINIAMENT	SINA	JOANTA		35g	28g	35g	25g	95g	75g	90g	70g
		MIJLOC PANOU		18g	14g	15g	10g	22g	16g	21g	15g
	TRAVERSA	LEMN (Joanta)	BLOCHET	43g	40g	50g	44g	50g	40g	48g	37g
			MIJLOC	45g	40g	62g	53g	35g	31g	40g	31g
		BETON (Mijloc panou)	BLOCHET	15g	11g	15g	11g	28g	22g	28g	22g
			MIJLOC	18g	14g	14g	11g	40g	32g	33g	24g
CURBA	SINA	JOANTA		53g	40g	47g	35g	250g	195g	205g	155g
		MIJLOC PANOU		16g	13g	15g	11g	16g	14g	20g	15g
	TRAVERSA	LEMN (Joanta)	BLOCHET	25g	22g	22g	16g	43g	36g	32g	25g
			MIJLOC	31g	28g	29g	21g	60g	45g	42g	36g
		BETON (Mijloc panou)	BLOCHET	6g	4g	45g	3g	10g	75g	9g	65g
			MIJLOC	3g	25g	25g	2g	45g	3g	45g	35g

In cazul măsurătorilor efectuate la joante, se remarcă faptul că valorile înregistrate atât pentru accelerațiile orizontale cât și pentru cele verticale, sînt mai mari. Astfel, accelerațiile maxime orizontale pentru locomotive și vagoane ating 33g iar accelerațiile medii corespunzătoare variază între 25...28g. Se observă deci o dublare a nivelului de vibrații față de punctul de măsură de la mijlocul panoului. Accelerațiile maxime verticale s-au ridicat pînă la 95g în cazul locomotivelor și 90g la vagoane, în vreme ce accelerațiile medii se situează la 75g pentru locomotive și 70g pentru vagoane.

Si la alte administrații de cale ferată [81] care au efectuat asemenea măsurători s-au remarcat sporiri importante ale accelerațiilor verticale în cazul joantelor, creșteri accentuate de mărirea rostului dintre șinele adiacente, rezultatele obținute la CFR înscriindu-se în ordinul de mărime al datelor furnizate de cercetările altor administrații în condițiile de geometrie a căii similare (100...200g).

La traverse apare de asemenea o dependență aproximativ liniară

accelerațiilor orizontale și verticale în funcție de viteza de circulație a convoiului. Dispersia înregistrată este mai mare decât în cazul șinelor (15%) în special pentru accelerațiile verticale (20%). Rezultatele măsurătorilor de accelerații verticale și orizontale arată că ele sînt de același ordin de mărime cu cele de la șine. Se constată de asemenea valori mai mari în special la accelerațiile verticale la mijloc de traversă față de blochet și șină. Este de remarcă faptul că la traverse accelerațiile orizontale sînt mai mari decât la șine (20...30%), însă cele verticale sînt mai mici de circa 2 ori în comparație cu cele de la șine. Accelerațiile orizontale ale traverselor au același ordin de mărime cu accelerațiile verticale la blochet și sînt mai mari la mijloc de panou. Rezultă deci o slabă amortizare a vibrațiilor în această zonă a suprastructurii.

În curbe, variația accelerației vibrațiilor cu viteza are o alură diferită față de aliniament. Astfel, ele prezintă un maxim sau cel puțin o schimbare a pantei în jurul vitezelor cuprinse în palierul 90...120 km/h. Fenomenul s-ar putea explica prin acțiunea forței centrifuge, care acționînd asupra materialului rulant determină lipirea buzei ban-lajului de șină, producînd și un efect de amortizare asupra elementelor oscilante. Dispersia rezultatelor se menține la ordinul de mărime al sectorului din aliniament (10%). Valorile înregistrate în cazul măsurătorilor în curbă permit tragerea următoarelor concluzii:

- la mijlocul panoului, accelerațiile orizontale și verticale ale traverselor la blochet sînt mai mici în comparație cu cele ale șinelor de 2...3 ori;

- în cazul plînotelor de măsură la joante, se remarcă faptul că accelerațiile orizontale ale traverselor sînt înjumătățite față de cele ale șinei iar cele verticale reduse de 5...6 ori.

În ceea ce privește accelerațiile vibrațiilor ce iau naștere în prisma căii, rezultatele măsurătorilor (s-au efectuat numai în anul 1969) sînt ne semnificative atît ca număr cît și ca performanțe. Cu toate acestea s-a ajuns la concluzia că ele reprezintă circa 20% din cele măsurate la traverse, adică are loc o amortizare a lor pe măsură ce punctul de măsurare se depărtează de sursă. Această concluzie este în concordanță cu teoria generală a amortizării vibrațiilor ce are loc cu ocazia transmiterii prin diverse medii și pe măsură ce distanța față de sursă crește [22].

Deosebit de important pentru studiul comportamentului dinamic al substratului sub influența vibrațiilor produse de trafic este spectrul de frecvență sub care se manifestă aceste vibrații. Din literatură rezultă că frecvența vibrațiilor ce iau naștere în cale în

timpul circulației materialului rulant este cuprinsă între 0 și 5000 Hz [142]. Dintre ele, numai vibrațiile cu frecvența sub 70 Hz prezintă interes pentru studiu deoarece cele cu frecvența superioară acestei valori au energie redusă și nu afectează caracteristicile substratului. Funcțiile de surse și caracteristici, vibrațiile se pot grupa în următoarele intervale:

- vibrațiile de frecvență joasă, insesizabile cu urechea ome-nească (sub 16 Hz), produse în special de fenomenele de deformare elastică a șinei și de încărcarea-descărcarea traverselor sub sarcina de circulație, de sistemele de suspensie ou arcuri. Aceste frecvențe sînt funcție de poza oăii, ampatamentul materialului rulant și viteza de circulație. Această categorie de vibrații se propagă pe adîncime mare, fără a se amortiza ușor;

- vibrațiile de frecvență cuprinse între 16...70 Hz, percepute ca un vuet jor, mai ales în tuneluri, sînt provocate de materialul rulant în special ca urmare a deformării sub sarcină a roților și osiilor, a vibrațiilor structurii acestora. Si aceste vibrații se amortizează destul de greu în infrastructură;

- vibrațiile cu frecvența de 70...200 Hz sînt produse de neregularitățile suprafeței de rulare și unele elemente ale materialului rulant. Această categorie poate fi neglijată, fiind puternic amortizate datorită amplitudinii și energiei reduse precum și frecvenței relativ mari.]

3.5.3. Studii cu privire la comportamentul dinamic al pămînturilor necoezive folosibile la realizarea substratului oăii

Plecîndu-se de la caracteristicile vibrațiilor ce se induc în oale prin derularea traficului, se pot stabili condițiile pe care trebuie să le îndeplinească substratul astfel încît să fie insensibil la acțiunea acestor vibrații și să amortizeze parțial vibrațiile ce se transmit terasamentului. Aceste două aspecte trebuie avute în vedere la proiectarea substratului deoarece s-a stabilit că sub influența vibrațiilor [43], [81], [114], [140], [144] pămînturile respective au o comportare diferită față de cazurile în care sînt supuse acțiunilor statice.

Conform teoriei generale a amortizării vibrațiilor [22], pentru ca substratul să fie un bun amortizor al vibrațiilor produse de

trafic, este necesar ca pe lângă calitățile elastice, el să se găsească într-un domeniu de frecvență foarte bine stabilit, obținându-se obținerea unei diferențe cât mai mari între frecvența solicitărilor dinamice produse de trafic și frecvența proprie a substratului.

Pe de altă parte, pentru ca substratul să fie stabil la acțiunea acelorasi vibrații, este necesar ca între frecvența critică a materialului din care este alcătuit substratul și frecvența predominantă produsă de circulație să fie o diferență cât mai mare.

Pentru a se putea stabili caracteristicile substratului din materialele necoeziive sub aspectul comportării sub vibrațiile produse de materialul rulant, autorul a făcut o analiză a rezultatelor studiilor efectuate de diverși cercetători asupra comportamentului dinamic al pământurilor respective. Deși de dată recentă, aceste cercetări oferă date suficiente pe baza cărora să fie posibilă aprecierea acestei comportări. Concluziile principale ce interesează comportamentul substratului sînt:

- rezistența dinamică a pământurilor necoeziive este mai mică decît cea statică;

- odată cu creșterea accelerației vibrațiilor are loc reducerea corespunzătoare a rezistenței la forfecare ca urmare a micșorării frecării interne;

- din același motiv, odată cu creșterea frecvenței peste valoarea critică, are loc reducerea rezistenței pământului;

- amplitudinea afectează și ea la rîndul ei rezistența acestor pămînturi, în sensul că ea scade odată cu creșterea amplitudinii vibrațiilor;

- rezistența dinamică a acestor pămînturi este puțin influențată de umiditate și indiciile porilor. Variațiile rezistenței funcție de umiditate sînt cauzate de cele ale coeziunii aparente care se reduce pînă la zero oînd umiditatea crește;

- în cazul nisipurilor trebuie evidențiată apariția lichefierii, fenomen ce se datorează încălzirii acestora într-un timp scurt și cu frecvență mare, ceea ce duce la reducerea rapidă a frecării interne, respectiv a eforturilor efective, datorită creșterii presiunii apei din pori. Se consideră caracteristic pentru nisipurile lichefiabile gradul de neuniformitate cuprins între 2 și 10.

De asemenea, pe măsura creșterii gradului de neuniformitate se ameliorează și comportarea pămînturilor respective la compactare, fiind posibilă atingerea valorilor maxime pentru greutatea volumică [75].

Analizînd cele menționate, se poate afirma că și în cazul substratului apar fenomene care influențează caracteristicile acestuia

atunci cînd calea este parcursă de materialul rulant. În condițiile traficului modern, cu viteze de circulație sporite, are loc modificarea caracteristicilor vibrațiilor, în sensul înrăutățirii lor sub aspectul solicitării substratului, prin creșterea accelerațiilor, frecvențelor și amplitudinilor. În aceste condiții, rezistențele se reduc considerabil, fiind posibilă chiar apariția lichefierii, deoarece solicitările dinamice produse de trafic se produc în cele mai dezavantajoase condiții pentru substrat, adică rapid și cu frecvență mare, ceea ce, așa cum rezultă din ultima condiție, poate produce lichefierea nisipului din substrat.

Comparînd frecvențele proprii ale nisipurilor (de ordinul a 15...25 Hz) [21], [144] cu cele ale vibrațiilor cu energie mare ce se induc în substrat (pînă la 70 Hz), rezultă că pot apărea situații în care cele două frecvențe sînt foarte apropiate, chiar identice, apărînd fenomenul de rezonanță. De asemenea, în cazul nisipurilor foarte uniforme sau cu uniformitate mijlocie, la o accelerație dată, coeficientul de frecare internă scade continuu pe măsura creșterii frecvenței, atîngînd un minimum, după care, pentru frecvențe mai mari, începe să crească din nou, tinzînd către o valoare constantă. Această valoare critică (pentru care se obține cea mai mică valoare a coeficientului de frecare) este proprie pentru fiecare fracțiune granulometrică [9], [114]. Rezultă că pentru a se evita fenomenul de pierdere a frecării interne în masă, este necesar ca substratul să fie aloțuit cu o distribuție cît mai neuniformă, deci cu un coeficient de neuniformitate cît mai mare. Tinînd cont și de faptul că starea de indesare a nisipului este și ea un factor important al potențialului de lichefiere, în sensul că pe măsură ce crește gradul de indesare se reduce pericolul de apariție a lichefierii, este recomandabilă o bună compactare a substratului.

Fiind stabil la acțiunea forțelor perturbatoare produse de trafic, substratul are în acest caz și capacitatea de a amortiza în mare măsură aceste vibrații, reducînd în acest mod influența dăunătoare a lor asupra terasamentelor. Ca și în cazul general al amortizării vibrațiilor [22], și în acest caz amortizarea are loc prin consumarea energiei vibrațiilor și transformarea ei în căldură, atît prin frecarea dintre particule cît și prin frecarea internă a acestora. De asemenea, energia se pierde prin radierie în semispaziul elastic. Privit sub aspectul izolării antivibratorii active, substratul funcționează sub formă de suspensie elastică, făcînd rolul de amortizor și izolator al vibrațiilor ce se deplasează spre terasament. Cu cît grosimea lui este mai mare, cu atît

amortizarea vibrațiilor va fi mai eficientă, ținând cont și de faptul că pe măsură ce crește distanța față de sursa perturbatoare, atenuarea vibrațiilor este mai accentuată.

În ceea ce privește funcționarea substratului ca ecran în calea vibrațiilor în drumul lor spre terasament, el nu poate îndeplini acest rol deoarece nu satisface condițiile ce se impun unui asemenea paravan în calea undelor [22] și anume: lungimea foarte mare în raport cu lungimile de undă incidente, să înconjoare complet terasamentul, să fie la o anumită distanță de terasament.

3.5.4. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului căii ce amortizor al vibrațiilor produse de trafic

Pe baza analizei caracteristicilor vibrațiilor ce apar în calea urmării a solicitărilor dinamice produse de trafic și a caracteristicilor dinamice ale nisipurilor precum și constatările făcute de autor pe unele sectoare ale rețelei CFR rezultă:

1.- ca urmărirea a derulării traficului feroviar, în calea apar vibrații ce se transmit și în substrat. Pe lângă amortizarea ce are loc în substrat ca urmărirea a elasticității lui, reflexiei și refracției, acesta trebuie să fie rezistent la efectul distructiv produs de vibrații;

2.- pentru a se preveni reducerea stabilității substratului și cu atât mai mult lichefierea sa, este necesară limitarea valorii inferioare a gradului de neuniformitate a nisipului la 15. Această limită a fost confirmată și de valorile obținute pe tronsoanele de studiu de pe care s-au cules datele pentru studiul regulei de filtru invers a substratului. Din valorile prezentate în coloana 6 a tabelului nr. 3.2, rezultă că nici-o valoare a gradului de neuniformitate a nisipului nu este inferioară acestei limite. În cazul alcătuirii substratului în sistem binar (nisip la bază și apoi balast), gradul de neuniformitate de minimum 15 este obligatoriu numai pentru nisip. Pentru balast nu este necesară această condiție deoarece acesta nu este sensibil la vibrațiile produse de trafic și în marea majoritate a cazurilor balastul are un grad de neuniformitate superior lui 15;

3.- în vederea asigurării amortizării vibrațiilor în substrat, astfel încât ele să ajungă la terasamente diminuate, este necesar ca în substrat să nu apară punți rigide de transmitere directă, fără amortizare, a vibrațiilor. Ținând cont de probabilitatea ca mai multe

particule de mari dimensiuni să formeze un lanț continuu între prisma căii și terasament, se impune ca dimensiunea maximă a granulelor din substrat să fie de maximum $1/5$ din grosimea acestuia în cazul nisipului și $1/3$ în cazul balastului. Mergîndu-se pe ideea folosirii materialului pentru substrat așa cum se găsește în zăcămint, fără sortare prealabilă, este posibilă apariția și a unor granule cu dimensiuni mai mari, astfel că această condiție de limitare a fracțiunilor maxime este necesară;

4.- în cazul liniilor industriale, la care viteza maximă nu depășește 30 km/h și la care în mod implicit și vibrațiile sînt mai reduse, gradul de neuniformitate minim poate fi 7, limită care asigură pe lîngă comportarea corespunzătoare la vibrații și condiția de compactare eficientă la punerea în operă. Aceste recomandări se pot aplica și în cazul altor linii cu viteze reduse de circulație (garare, evitare);

5.- substratul nu poate funcționa ca ecran în calea vibrațiilor care se transmit către terasament deoarece nu îndeplinește condițiile ce se cer pentru o asemenea funcție.

3.6. STUDIUL SUBSTRATULUI CĂII CA IZOLATOR TERMIC AL TERASAMENTULUI

3.6.1. Studii teoretice asupra funcției substratului căii ca izolator termic al terasamentului

Deși prescripțiile tehnice (STAS 7582-81) interzic utilizarea pămînturilor foarte sensibile la îngheț în zona platformei căii, studiile efectuate de autor [106] au demonstrat că în peste 70% din cazurile cercetate, terasamentele sînt construite din pămînturi foarte sensibile la îngheț, restul de circa 30% din cazuri făcînd parte din categoria pămînturilor sensibile la îngheț.

În situația în care nu se iau măsuri de protecție a terasamentelor foarte sensibile la îngheț, în perioadele friguroase liniile respective prezintă un grad ridicat de instabilitate [12] afectînd în mod serios siguranța circulației. Pentru asigurarea unor condiții de circulație corespunzătoare sînt necesare măsuri de consolidare care presupun un volum important de muncă și cheltuieli mărite de întreținere [13].

Mecanismul producerii deranjamentelor la cale este același

ou cazul general al apariției defecțiunilor la construcțiile fondate pe pământuri gelive deasupra limitei de îngheț [12],[13],[74]. Pe măsură ce temperaturile negative se propagă în terasament, se formează lentile de gheață prin înghețarea apei libere și a unei părți din învelișul de apă legată din jurul particulelor solide. Datorită faptului că se reduce învelișul de apă legată din jurul particulelor aflate în contact direct cu frontul de înghețare, se deranjează echilibrul învelișurilor de apă legată al particulelor aflate în zona de îngheț cu cele aflate mai jos. În această situație, apa din jurul particulelor aflate mai în adâncime este atrasă spre particulele aflate mai la suprafață, unde îngheață, mărinđ lentilele de gheață. Această migrare a apei legate face ca volumul de apă supus înghețării să fie mai mare decât al apei aflate în porii zonei din imediata apropiere a suprafeței. Deși prin îngheț apa își mărește volumul cu 9%, umflările la pământurile foarte sensibile la îngheț sînt cu mult mai mari. Astfel, în cazul unui pămînt saturat avînd $n=50\%$, această umflare ar trebui să fie de circa 4,5%, în realitate umflarea atinge valori de 20...30%.

Ca urmare a măririi volumului apei prin îngheț, în pămînt ia naștere o stare de tensiune internă ce duce în final la umflarea părții superficiale a terasamentului, fenomen ce are repercursiuni directe asupra nivelului căii. Aceste deranjamente măsurate la nivelul șinei depășesc de multe ori toleranțele admise, impunîndu-se restricții de circulație și măsuri speciale de întreținere.

Efectele temperaturilor sozute asupra terasamentelor și în general asupra stării căii sînt mai pronunțate primăvara [12], cînd se constată o reducere pronunțată a stabilității căii.

Rezultă că și în cazul căii ferate este necesară efectuarea unor studii sub aspectul sensibilității la îngheț astfel încît acesta să nu afecteze sub nici-o formă siguranța și fluența traficului. Singurul element care trebuie analizat sub aceste aspect este terasamentul, care poate fi constituit din pămînturi foarte sensibile la îngheț, deoarece materialele utilizate pentru prisma căii și substrat (piatră spartă, nisip, balast) sînt insensibile la îngheț. Faptul că traversele sînt incluse în prisma căii nu numai că nu reduce gradul de protecție termică ci chiar îl mărește în punctele respective, datorită faptului că ele au permeabilitatea termică mult mai mică decât piatra spartă [159].

Unele cercetări [127] recomandă asigurarea unui înveliș constituit din prisma căii și substrat avînd o grosime egală cu adîncimea de îngheț din zona respectivă, minus 20 cm. Această adîncime corespunde izotermei de -2°C , cercetările demonstrînd că adîncimea

de îngheț este reprezentată de adâncimea de pătrundere a geozotermei de -2°C și nu de cea a geozotermei de 0°C .

Problema protecției terasamentelor construite din pământuri gelive se pune cu și mai mare importanță în țările cu climă mai aspră [159], folosindu-se în acest scop zgură de locomotivă, traverse, din lemn vechi, blocuri din turbă presată, pîslă și vată minerală, polistiren expandat.

3.6.2. Cercetări cu privire la substrat ca izolator termic al terasamentului

Scopul acestor studii pe care le-a efectuat autorul, a fost de a verifica modul în care substratul și prisma căii avînd grosimea totală egală cu oel puțin adâncimea de îngheț din zona respectivă, minus 20 cm, asigură protecția corespunzătoare sub aspect termic a terasamentelor foarte sensibile la îngheț. De asemenea, s-a analizat și modul în care grosimea redusă a straturilor respective (prisma căii și substrat) influențează comportarea la îngheț a terasamentelor gelive.

Pentru atingerea primului obiectiv, din tabelele 3.1 și 3.2 au fost selectate toate tronșoanele pe care s-au întîlnit terasamentele executate din pământuri foarte sensibile la îngheț. Incaadrarea în această categorie s-a făcut pe baza criteriului lui Cassagrande (fig. 3.34).

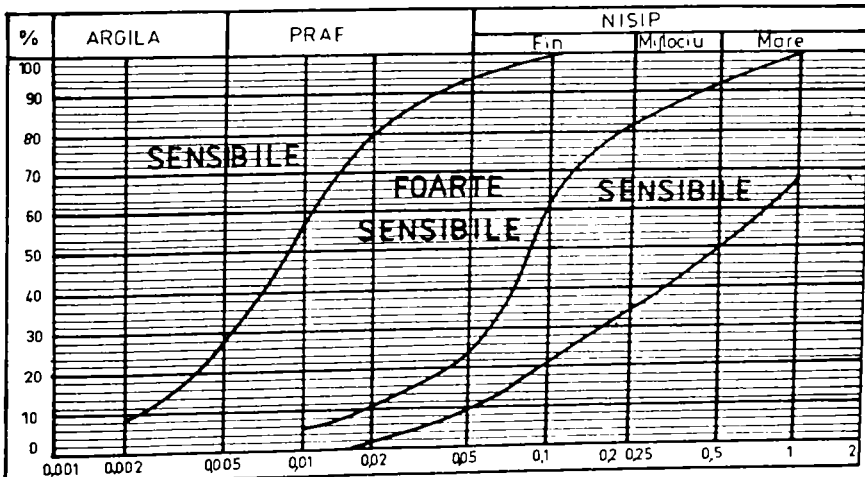


Fig. 3.34. Criteriul de stabilitate a sensibilității la îngheț a pământurilor (după Cassagrande).

Conform acestui criteriu, pe baza curbei granulometrice a pământului respectiv se poate stabili gradul de sensibilitate la îngheț prin modul în care curba respectivă se încadrează în spațiile delimitate ca sensibile sau foarte sensibile la îngheț.

După stabilirea modului de comportare la îngheț a pământurilor din terasamentele sectoarelor studiate, pentru zonele gelive, s-a determinat adâncimea de îngheț pe baza STAS-ului 6054-77, elementele obținute grupându-se în tabelul 3.11. În acest tabel s-au introdus și grosimile medii măsurate ale straturilor componente ale prismeii căii și substratului.

TABELUL 3.11
CENTRALIZATOR DATE DE TEREN-TERASAMENTE CONSTRUITE
DIN PĂMÎNTURI FOARTE SENSIBILE LA ÎNGHEȚ

Nr. crt.	LINIA C. F. R.	KM	GROSIME PRISMA CĂII SI SUBSTRAT [cm]	ADÂNCIMEA DE ÎNGHEȚ - 20 cm [cm]
0	1	2	3	4
1	I Roșiori-Caracal	131+550	61	65
2	II Făurei - Caracal	131+550	69	65
3	Făurei - Tecuci	33+125	80	65
4	II Brâila - Galați	251+060	77	70
5	Făurei - Tecuci	14+515	74	65
6	II Făurei - Brâila	169+530	65	65
7	I Făurei - Brâila	172+610	86	70
8	II Videle - Roșiori	52+120	68	70
9	I Videle - Roșiori	54+815	74	70
10	II Videle - Roșiori	59+070	68	70
11	I București-Videle	32+025	78	70
12	II București-Videle	34+615	64	70
13	II Brâila - Galați	241+070	80	70
14	II Buzău - Adjud	142+320	81	70
15	I Buzău - Adjud	138+010	87	70
16	Urziceni-Făurei	74+185	82	65
17	Adjud - Ciceu	26+560	75	70
18	Adjud - Ciceu	28+090	88	70
19	I București-Pitești	73+540	82	70
20	II București-Pitești	73+540	78	70
21	II București-Pitești	88+080	82	70
22	II Buzău - Adjud	235+070	70	70
23	I Buzău - Adjud	235+070	87	70
24	I Brâila - Galați	258+160	68	70
25	II Buzău - Adjud	231+445	72	70

Analiza acestui

tabel denotă că în toate cazurile studiate grosimea materialelor drenante aflate pe terasament (prisma căii și substrat) a fost cel puțin egală cu adâncimea de îngheț din zona respectivă, minus 20 cm. Cazurile în care grosimea straturilor drenante a fost mai mică au fost foarte rare și nesemnificative dacă se are în vedere mărimea diferenței dintre datele comparate. Concluziile care se pot desprinde din datele centralizate în tabelul

3.11 și pe baza

observațiilor de teren și a analizelor de laborator impuse de întocmirea tabelului respectiv, este că pentru condițiile țării noastre,

o grosime a straturilor drenante ce depășește adâncimea de îngheț (mai puțin 20 cm), toate valorile fiind exprimate în cm, este suficientă pentru a asigura protecția termică a terasamentelor constituite din pământuri foarte sensibile la îngheț.

Pentru a se vedea dacă această grosime a straturilor drenante nu este prea acoperitoare, ceea ce ar conduce la creșterea inutilă a costului lucrărilor de execuție, autorul a făcut și analiza pe sectoare cu terasamente constituite din pământuri foarte sensibile la îngheț și la care grosimea straturilor drenante a fost mai mică decât adâncimea limitei de îngheț minus 20 cm. Pentru exemplificare, se fac referiri la datele cuprinse în tabelul 2.5. Analiza lui indică că pe liniile cu terasamente gelive și insuficient protejate termic, în perioadele în care fenomenele de îngheț-dezghet sînt mai accentuate, respectiv toamna și în special primăvara, punctajul defectelor înregistrate de vagonul de măsurat calea, datorită denivelărilor căii, este mult mai mare decât vara. Astfel, pe linia II Buzău-Mărășești, km. 185-186, în perioada verii anului 1971, la trecerea vagonului de măsurat calea în luna iulie s-au înregistrat 140 puncte. În perioada de iarnă-primăvară (luna martie) s-au înregistrat 1920 puncte iar în perioada toamnă-iarnă (luna noiembrie) s-au înregistrat 640 puncte. Pe linia Adjud-Ciceu, km. 26-27 în cele trei perioade ale aceluiași an, s-au înregistrat următoarele valori la vagonul de măsurat calea: 525 puncte în luna aprilie, 105 puncte în luna august și 285 puncte în luna octombrie. Se menționează faptul că pe sectoarele respective consumul de manoperă pentru întreținerea căii a fost sensibil egal în perioadele analizate. Rezultă că pe liniile pe care terasamentele sînt executate din pământuri sensibile la îngheț-dezghet și la care protecția termică făcută de substrat și prisma căii este insuficientă ca urmare a grosimii reduse a acestora, vara linia se comportă mai bine datorită faptului că nu este deranjată și de denivelările provocate de îngheț, în perioada de toamnă-iarnă începe să se simtă influența defavorabilă a înghețului, pentru ca în perioada de sfîrșit a iernii și începutul primăverii, linia să fie puternic slăbită din cauza înghețului ce a afectat terasamentul.

Din punct de vedere al izolării termice a terasamentelor gelive, cenușa de locomotivă apare ca foarte indicată, cu atât mai mult cu cît ea are o capacitate de izolare termică cu circa 40% mai mare decât nisipul [159], dovedindu-se corespunzătoare și sub aspectul restului de funcții ce revin substratului.

3.6.3. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului ca izolator termic al terasamentului

Din analiza sectoarelor de oale avînd terasamente executate din pămînturi foarte sensibile la îngheț, rezultă:

1.- deși prescripțiile tehnice interzic utilizarea la construcția terasamentelor feroviare a pămînturilor foarte sensibile la îngheț, pe rețeaua CFR există numeroase sectoare cu asemenea terasamente;

2.- ca urmare a deranjamentelor ce se pot produce căii din cauza terasamentelor gelive insuficient termoprotejate, se impune în toate cazurile protecția terasamentului contra înghețului;

3.- pentru condițiile climatice specifice țării noastre, protecția termică a terasamentelor gelive se poate asigura în mod corespunzător printr-o grosime suficientă a prismeii căii și substratului. În acest

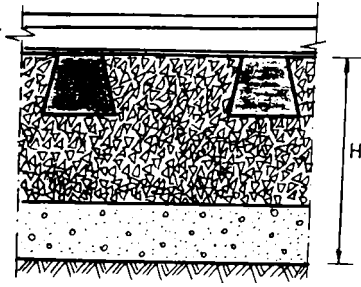


Fig. 3.35. Stabilirea grosimii minime a prismeii căii și substratului în vederea asigurării protecției termice a terasamentului.

scop, este necesar ca grosimea totală "H" a straturilor drenante așezate pe terasament (fig. 3.35) să fie egală cu oel puțin adîncimea de îngheț aferentă zonei în care se află terasamentul, minus 20 cm;

4.- sub aspectul protecției termice, cenușa de locomotivă este foarte ieftină, dar producerea grosimii straturilor drenante corespunzătoare capacității sale de izolare termică care este mai mare cu 40% comparativ cu cea a nisipului.

4. STUDII CU PRIVIRE LA PROIECTAREA SI TEHNOLOGIILE DE EXECUTARE A SUBSTRATULUI CAII

Pentru concretizarea studiilor făcute asupra funcțiilor substratului căii, în cele ce urmează se prezintă unele aspecte cu privire la modul cum se poate face proiectarea substratului precum și realizarea tehnologică a acestuia.

4.1. STUDII CU PRIVIRE LA MODUL DE APLICARE A REZULTATELOR CERCETĂRII LA PROIECTAREA SUBSTRATULUI CĂII FERATE

4.1.1. Principii generale pentru proiectarea substratului căii

Pentru ca un substrat să fie perfect definit, este necesar să se cunoască următoarele elemente caracteristice: granulozitatea, grosimea (înălțimea) și lățimea sa.

Din analiza rolului și funcțiilor ce revin substratului căii și a studiilor făcute de autor, rezultă că pentru determinarea granulozității și grosimii sînt necesare studii de teren și laborator. Lățimea substratului rezultă constructiv, ținîndu-se cont de lățimea prismei căii și de prezența sau absența instalațiilor sau altor obiective feroviare.

Cercetările prezentate în paragrafele 3.1, 3.2, 3.3 și 3.5 relevă importanța deosebită pe care o are granulozitatea asupra funcțiilor de drenare, filtru invers, reducerea capilarității și stabilitatea la vibrații, pe cînd studiile prezentate în paragrafele 3.4 și 3.6 evidențiază modul în care grosimea substratului determină protecția pe care acesta a asigură terasamentului la acțiunea solicitărilor dinamice produse de materialul rulant precum și la îngheț. Chiar dacă există și unele întrepătrunderi între anumite funcții și caracteristica substratului pe care o condiționează, se poate afirma că granulozitatea substratului va fi dictată de funcțiile de drenare, filtru invers, reducerea capilarității și comportarea la vibrații iar grosimea de asigurarea protecției termice și mecanice corespunzătoare a terasamentului. Acest principiu trebuie avut în vedere la proiectarea substratului deoarece există garanția asigurării unui coeficient de siguranță acoperitor. Așa de exemplu, la o granulozitate riguros stabilită, substratul nu-și va putea îndeplini rolul de filtru invers dacă nu va avea și o anumită grosime minimă care să permită blocarea migrării particulelor fine din terasament. Această grosime minimă va fi însă depășită de cerința asigurării rolului de transmitere, reducere și uniformizare a eforturilor dinamice produse de trafic, astfel încît nu există pericolul ca vreo funcție a substratului să nu fie corespunzător acoperită.

La stabilirea grosimii minime a substratului trebuie să se

țină seama și de protecția termică a pământurilor foarte sensibile la îngheț precum și de precizia utilajelor terasiere. Aceste utilaje nu pot executa straturi din nisip sau balast cu grosimi mai mici de 8...10 cm și nici cu precizii de ordinul a 1...2 cm. În consecință, este necesar ca grosimile obținute prin caloul să fie rotunjite la valori ce sînt multiplu de 5, grosimea minimă admisă fiind de 10 cm.

În ceea ce privește lățimea substratului, ea nu rezultă din caloul ci constructiv, ținîndu-se cont de profilul transversal al căii în punctul studiat (cale simplă sau dublă, stație), de prezența sau absența unor dispozitive sau instalații de cale (semnale, cabluri).

Pe baza cercetărilor efectuate de autor și a considerentelor enumerate, s-au stabilit criteriile ce trebuie avute în vedere la proiectarea fiecărei caracteristici a substratului.

Pentru a fi corespunzător la un terasament dat, substratul alcătuit din nisip, trebuie să aibă o granulozitate care să îndeplinească simultan următoarele condiții:

I - Ca filtru invers, între granulozitatea terasamentului și cea a substratului trebuie să existe următoarele legături:

$$0,5 < \frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 2 \qquad \frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 30$$

în cazul liniilor magistrale, cu condiții grele de trafic și respectiv:

$$0,5 < \frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 3 \qquad \frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 10$$

în cazul liniilor secundare.

Se mai recomandă și respectarea raportului:

$$12 < \frac{d_{50s}}{d_{50t}} < 58$$

raport ce conduce la asigurarea unui paralelism între curba granulometrică a terasamentului și cea a substratului. Limita superioară este facultativă, cea inferioară fiind obligatorie.

În aceste rapoarte, notațiile au următoarele semnificații:

d_{15s} = diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 15 din curba granulometrică a substratului;

d_{50s} = diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 50 din curba granulometrică a substratului;

d_{15t} = diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 15 din

curba granulometrică a terasamentului;

d_{50t} = diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 50 din curba granulometrică a terasamentului;

d_{85t} = diametrul fracțiunii corespunzătoare procentului 85 din curba granulometrică a terasamentului.

Aceste rapoarte se referă la substratul alcătuit dintr-un singur strat din nisip. În cazul folosirii și a balastului în cel de al doilea strat, după proiectarea stratului de bază din nisip, utilizând aceleași rapoarte se va determina și granulozitatea stratului superior din balast.

II - Ca amortizor al vibrațiilor produse de trafic și pentru a se comporta bine la acțiunea vibrațiilor, producând o disipare a energiei acestora, atunci când îl traversează și să nu permită transmiterea lor în mod direct către terasamente, substratul trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- gradul de neuniformitate al materialului (nisip, balast) să fie minimum 15 (7 în cazul liniilor secundare) cu asigurarea unei granulozități continue;

- diametrul maxim al granulelor să nu depășească $1/5$ din grosimea substratului în cazul nisipului și $1/3$ în cazul balastului.

III - Ca dispozitiv de drenare a apelor pluviale și întrerupător al ascensiunii capilare spre prisma căii, substratul este necesar să fie alcătuit dintr-un nisip mijlociu sau cu granule mai mari, în care granulele cu dimensiunile de 0,25...0,50 mm sînt predominante. Pentru stratul din balast (în cazul alcătuirii binare a substratului), granulozitatea mai grosieră asigură îndeplinirea corespunzătoare a celor două cerințe. Este de menționat faptul că la acceptarea soluției în sistem binar trebuie să se aibă în vedere și posibilitatea colmatării de sus în jos a substratului cu materiale ce cad din vagoane (minereu, agregate minerale, cărbuni etc.), evitîndu-se această soluție pe liniile pe care prin natura traficului este posibilă o asemenea contaminare. Chiar și în cazul curățirii periodice a prismei căii, procesul de colmatare a părții din strat alcătuită din balast nu poate fi oprită, motiv pentru care se va alege soluția cu strat unic din nisip. Avînd în vedere faptul că pe aceste linii se poate produce colmatarea mai rapidă a substratului la partea superioară chiar și în cazul substratului alcătuit numai din nisip, pe o înălțime mai redusă decît în cazul balastului (respectiv 20...30 mm pentru nisip față de colmatarea totală a substratului din balast), este recomandabilă majorarea

grosimii substratului față de cea rezultată din calcul cu 25...30% pentru a se putea elimina zonele superioare contaminate cu ocazia ciuruirii pietrei sparte din prisma oăii, fără ca prin această operație să fie diminuată grosimea minimă necesară a substratului.

Practic, după stabilirea limitelor între care trebuie să se încadreze curba granulometrică a substratului funcție de cea a terasamentului, se alege un material a cărui curbă se încadrează între aceste limite, urmărindu-se ca granulozitatea lui să fie cât mai apropiată de cea optimă. În acest sens, se va controla starea de paralelism a celor două curbe și modul în care se realizează și celelalte condiții (grad de neuniformitate, dimensiunea maximă a granulei, ponderea particulelor cu dimensiuni de 0,25...0,50 mm).

Plecându-se de la faptul că marea majoritate a terasamentelor rețelei CFR sînt de natură argiloasă, predominînd argilele prăfoase, se poate afirma că substratul cu granulozitatea optimă va trebui să fie un nisip mijlociu, spre mare.

IV - La stabilirea grosimii minime a substratului, criteriul principal îl constituie asigurarea la nivelul feței superioare a terasamentului a unor eforturi inferioare portanței acestuia în orice condiții de lucru, prin substrat avînd loc pe lîngă uniformizarea eforturilor transmise de cale și o reducere a acestora de la 200...350 kPa ce se înregistrează sub talpa traverselor, la 50...100 kPa sau chiar mai mici, cît reprezintă rezistențele admisibile ale terasamentelor în situațiile cele mai dezavantajoase de lucru. În cazul terasamentelor existente, grosimea minimă a substratului se determină prin încercări de teren cu penetrometrul tip ICPTT. În cazul liniilor noi, grosimea se determină prin calcul, iar după execuția terasamentului se impune verificarea și redimensionarea cu penetrometrul tip ICPTT și abaca de dimensionare din figura 3.26 (curbele 2 și 3). Grosimea rezultată se rotunjește la o valoare multiplu de 5. Dacă terasamentul este executat din pămînturi foarte sensibile la îngheț (după criteriul lui Cassagrande), se impune verificarea grosimii stabilite anterior sub aspectul protecției termice, majorîndu-se grosimea dacă este cazul.

V - În ceea ce privește lățimea substratului, autorul consideră că este necesar ca acesta să depășească cu cel puțin 10 cm de-o parte și de alta baza prismei oăii, astfel încît continuitatea lui să fie asigurată sub toată prisma oăii, cei 10 cm prevăzuți fiind suficienți pentru a acoperi și precizia de lucru a utilajelor de construcții. Aceasta este valabil numai în cazul liniilor curente pe ale căror

terasamente nu sînt prevăzute nici-un fel de construcții și instalații. În prezența acestora însă, lățimea minimă de 10 cm nu mai este suficientă deoarece nu mai este asigurată fiabilitatea substratului. De aceea, în cazul peroarelor din stații substratul se va executa pe toată lățimea platformei stației, asigurîndu-se pantele pentru scurgerea apelor pe terasamente.

În baza unor studii efectuate de autor [111] pentru cazul prezenței canalelor de cabluri pe terasamente, a rezultat poziția optimă a acestora în profilul transversal al căii precum și modul de realizare a substratului căii în aceste condiții (fig. 4.1).

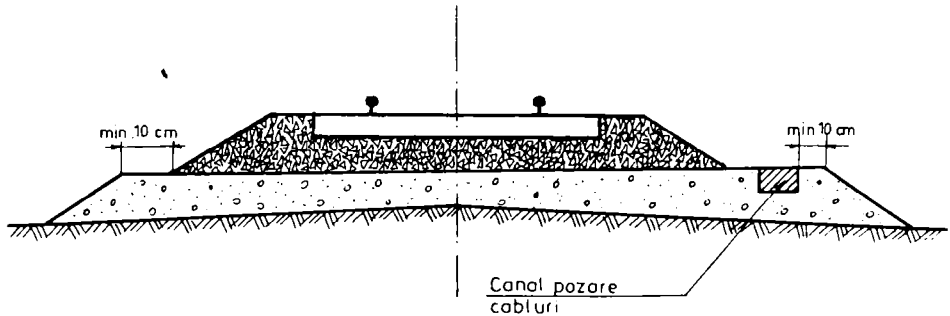


Fig. 4.1. Alcătuirea generală a substratului căii pe linii cu și fără canale prefabricate din beton pentru pozarea cablurilor.

Prin acest mod de rezolvare a montării canalelor prefabricate pentru cabluri, se asigură, pe lângă continuitatea substratului și acces facil la cabluri, stabilitatea și integritatea traseelor de cabluri precum și a substratului.

Un alt aspect important legat de substrat care poate fi elucidat în acest moment, este cel referitor la cazurile în care nu mai este necesară prezența acestuia. Sînt numeroase cazurile în care terasamentele sînt executate total sau numai parțial (partea superioară) din pămînturi necoezive, cel mai adesea din balast de rîu, situații în care substratul nu-și mai are rostul deoarece nu mai are la bază un pămînt coeziv ce necesită protecție. Terasamentele respective conțin foarte puține particule fine ce-ar putea fi antrenate hidrodinamic, au capacitate drenantă ridicată și capilaritate redusă, fiind în același timp practic insensibile la vibrațiile produse de deplasarea materialului rulant și îngheț-dezghet. În concluzie, rezultă că în cazul terasamentelor executate din pămînturi necoezive care se pretează la asemenea construcții, în pri-

mul rînd balastul de rîu, nu mai este necesară prevederea substratului în următoarele condiții (precizate și în normele de proiectare stabilite pe baza acestor cercetări):

- gradul de neuniformitate al materialului din terasament să fie minimum 15, cu asigurarea unei granulozități continue;
- granulele cu dimensiuni de 0,25...0,50 mm și mai mari să reprezinte cel puțin 50% din materialul utilizat la terasamente.

În cazul terasamentelor executate din asemenea materiale neomogene, nu se mai pune nici problema depășirii eforturilor ce iau naștere la baza prismei căii și urmează a fi preluate de terasament deoarece portanța acestor terasamente este cu mult mai mare decât eforturile ce se realizează efectiv.

La terasamentele de natură stîncosă (aspect studiat mai puțin de autor) substratului îi revin de asemenea funcții mai puține, în sensul că funcția de filtru invers nu mai este necesară, cea aferentă la eforturi se reduce numai la uniformizarea lor, nu mai este necesară nici protecția termică a terasamentelor. În schimb, substratul trebuie să asigure disiparea eficientă a vibrațiilor produse de materialul rulant și să confere căii un comportament cât mai elastic prin eliminarea rigidității puternice care rezultă prin așezarea prismei căii direct pe stîncă. Substratul va trebui de asemenea să permită drenarea corespunzătoare a apelor din zona platformei căii și să împiedice ascensiunea capilară a apei în prisma căii. Rezultă deci că în cazul terasamentelor stîncose substratul trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- gradul de neuniformitate al materialului să fie minimum 15, cu asigurarea unei granulozități continue, recomandabil fiind balastul de rîu;
- grosimea substratului să fie de minimum 15 cm;
- diametrul maxim al granulelor să nu depășească 1/5 din grosimea substratului, respectiv 30 mm;
- granulele cu dimensiuni mai mari de 0,5 mm să fie predominante.

4.1.2. Studii cu privire la etapele proiectării substratului căii

Proiectarea substratului căii presupune parcurgerea mai multor faze, de-a lungul cărora se strîng toate elementele necesare cunoașterii caracteristicilor terasamentului pentru care urmează a se proiecta substratul, precum și cele referitoare la sursele posibile și

rentabile din care se poate face aprovizionarea cu materialele necesare executării substratului. Pe baza datelor respective se fundamentează studiul tehnico-economic care în final decide care din sursele posibile de material pentru substrat este cea mai indicată, astfel încât substratul rezultat să fie de foarte bună calitate, iar prețul de cost să fie cât mai redus. În acest sens, la alegerea substratului este necesar a se avea în vedere și sistemul binar în cazul în care sursele apropiate de material granular nu se pot folosi în stare nativă și necesită sortări, iar materialul apt pentru substrat se află la distanțe mari. În această situație se recomandă executarea unui strat de bază din material local sortat sau adus de la altă sursă aflată la distanță mai mare, iar a celui de al doilea strat din material local.

Având la bază studiile prezentate anterior, rezultă că pentru proiectarea substratului căii este necesar a fi parcurse următoarele etape:

- culegerea datelor și prelevarea probelor de teren de pe sectoarele de cale pe care urmează a se proiecta substratul precum și de la sursele vizate ca fiind apte de a oferi material pentru substrat;
- analizele de laborator asupra probelor prelevate din teren;
- interpretarea și utilizarea datelor obținute în cele două etape anterioare, astfel încât substratul obținut să îndeplinească în totalitate funcțiile ce-i revin iar prețul de cost să fie cât mai redus.

4.1.2.1. Culegerea datelor de teren necesare proiectării substratului

Așa cum s-a menționat, aria investigațiilor respective trebuie să aibă în vedere în primul rând terasamentele pe care urmează a se executa substratul dar și posibilele surse de aprovizionare cu material în cazul în care informațiile aflate la dispoziție sînt insuficiente.

În ceea ce privește terasamentele, prin datele și probele culese trebuie să se asigure elementele necesare stabilirii celor trei parametri definitorii ai substratului și anume:

- granulozitate (prin prelevarea probelor din terasamente ce vor fi analizate în laborator);

- grosime (prin măsurători asupra portanței terasamentelor, coroborate dacă este cazul, și cu alte studii și diagrame teoretice asupra dezvoltării eforturilor în profunzimea terasamentelor);

- lățime (prin analiza situației locale precum și a proiectelor referitoare la instalațiile feroviare ce urmează a fi instalate în zonă).

De la balastierele și carierele vizate ca posibile surse de material granular pentru substrat, sînt necesare investigații de teren atunci cînd respectivele surse sînt insuficient cercetate, prelevîndu-se probe pentru determinarea granulozității zăcămintului și sorturilor, dar culegîndu-se și date referitoare la rezervele existente, asupra sorturilor ce rezultă în exces sau sînt mai puțin solicitate și rămîn în stoc etc.

Esențial în activitatea de culegere a datelor de teren este ca probele prelevate să fie cît mai reprezentative pentru sectoarele cercetate, să reflecte toate schimbările de caracteristici apărute de la un sector la altul, să ofere cît mai multe informații activității de proiectare a substratului.

În ceea ce privește prelevarea de probe de teren necesare determinării caracteristicilor granulometrice ale pămînturilor din terasamente, se disting două cazuri, funcție de situația și tehnologia prin care se aplică substratul respectiv:

- în cazul liniilor noi sau a liniilor ce se dublează;
- în cazul liniilor aflate în circulație, la care urmează a se introduce substrat.

La liniile noi sau care se dublează, probele pe baza cărora urmează a se determina granulozitatea terasamentelor se prelevează din ultimul strat al terasamentului respectiv, ca probe tulburate, frecvența de 2 probe/km considerîndu-se a fi suficientă pentru evidențierea unor eventuale modificări ale granulozității care nu pot fi totuși prea importante și cu influență sesizabilă asupra caracteristicilor granulometrice ale substratului în cazul menținerii aceluiași pămînt. Rezultă că în condițiile în care pămîntul din terasament nu prezintă variații de surse, probele se prelevează din axul căii din 500 în 500 m. La schimbarea naturii terenului din terasament se prelevează din nou probe, chiar dacă distanțe de la ultima probă este mai mică de 500 m. Se prelevează probe unice care se ambalează în pungi din polietilenă, cu numere de identificare și care se trimit laboratorului geotehnic.

Pentru fiecare probă se consideră util a se nota: linia și kilo-

metrul, cota de prelevare, data, tipul profilului transversal.

În cazul liniilor aflate în exploatare și la care urmează a se introduce substratul prin una din tehnologiile ce se vor prezenta în acest capitol, prelevarea probelor se va face prin sondaje deschise între traverse, conform celor prezentate în paragrafele 2.2, 3.2 și 3.4. Frecvența de prelevare este aceeași cu cea din cazul liniilor noi sau în curs de dublare, cu sublinierea faptului că în cazul liniilor existente este mai greu de sesizat schimbarea naturii terenului din terasament, motiv pentru care dacă rezultatele de laborator indică la un moment dat o diferență prea mare între curbele granulometrice ale probelor prelevate din zone epropiate, se va trece la îndesirea sondajelor, astfel încît să fie stabilită cu certitudine poziția punctului în care terenul are altă natură. În orice caz, punctele de trecere de la debleu la rambleu și invers, sînt puncte obligatorii de prelevare.

Cea de a doua categorie de date de teren, este cea referitoare la portanța terasamentelor respective, pe bază căreia urmează a se determina grosimea substratului. Aparatura și metodologia de determinare sînt cele prezentate în paragraful 3.4, respectiv metoda penetrometrului tip ICPT.

Din studiile făcute, s-a ajuns la concluzia ca determinările să se facă din 500 în 500 m, însă în cazul liniilor existente sau la care sînt probleme de portanță a terasamentelor, frecvența determinărilor cu penetrometrul va putea ajunge chiar la măsurători din 100 în 100 m. Valorile măsurate se întabulează, tabelul respectiv cuprinzînd: linia și kilometrul, data, tipul profilului transversal, valoarea penetrărilor, media selectivă a penetrărilor, grosimea rezultată a substratului conform abacei 3.26 (curbele 2 și 3) (ultimele două rubrici se completează ulterior).

Pentru balastierile sau carierele de la care se intenționează să se procure materialul granular necesar substratului, atunci cînd se consideră că datele puse la dispoziție de furnizor nu satisfac cerințele proiectantului, se vor preleva probe atât din zăcămintărit cât și din materialele obținute prin sortare, în scopul determinării curbelor granulometrice ale materialelor respective. În ceea ce privește modul de prelevare a probelor, nu există cerințe deosebite față de cazul obișnuit al unor analize de rutină. Cu ocazia prelevării probelor, este necesar ca proiectantul să culegă date referitoare la volumul rezervelor, ponderea și solicitarea la vânzare a diferitelor sorturi.

4.1.2.2. Studii realizate prin analize de laborator

Obiectul acestor analize îl constituie probele prelevate din terasamente și balastiere sau cariere iar scopul principal, determinarea curbelor granulometrice ale materialelor respective. Pentru pământurile coezive din terasamente se determină și limitele de plasticitate, necesare pentru caracterizarea completă a pământurilor respective.

După întocmirea curbelor granulometrice ale pământurilor din terasamente, se stabilesc:

- ponderea fracțiunilor granulometrice (argilă, praf, nisip) oare împreună cu limitele de plasticitate permit identificarea exactă a rocilor din terasamente;
- diametrele fracțiunilor care interesează la proiectarea substratului, respectiv: d_{15t} , d_{50t} și d_{85t} .

Din curbele granulometrice se face și analiza sensibilității la îngheț pe baza criteriului lui Casagrande.

Pentru materialele ce urmează a fi utilizate pentru substrat, din curbele granulometrice se evidențiază: diametrul pe fracțiuni (d_{15s} și d_{50s}) și gradul de neuniformitate.

Aflat în posesia acestor elemente de laborator, a datelor culese din teren și a unor informații suplimentare puse la dispoziție de planurile de trasare și profile transversale, geotehnicianul poate trece la proiectarea substratului respectiv.

4.1.2.3. Interpretarea și utilizarea datelor obținute în vederea proiectării substratului căii

Important în activitatea de proiectare a substratului este ca pe baza informațiilor acumulate despre terasament și diversele surse de aprovizionare cu material drenant, să fie ales acel substrat care satisface simultan și cât mai complet toate sarcinile la care trebuie să răspundă substratul pe întreaga durată de serviciu, cu cheltuieli de producție cât mai mici. Aceste costuri, care trebuie să fie cât mai reduse, au în vedere în primul rând costul ce revine pentru materialul din substrat deoarece el intervine cu ponderea cea mai mare, restul aspectelor, ca tehnologia de execuție de exemplu, influențând cu pondere mai redusă valoarea lucrărilor. Din aceste considerente, varianta cea mai economică o constituie utilizarea materialului pen-

tru substrat așa cum se află el în zăcămint, fără a fi necesare sortări, avînd în vedere că acestea duc la creșterea prețului de livrare. În actualele condiții de criză energetică, eliminarea operațiunilor de sortare se recomandă cu atât mai mult. În situația în care sursele care pot fi utilizate direct în substrat, fără sortări prealabile, se află la distanțe mari, cheltuielile de transport ridicate pot mări prețul materialului respectiv și în acest mod prețul procurare-transport să fie mai mare decât prețurile aflate la distanțe de transport mai mici dar care necesită sortare. În acest caz este de preferat a doua sursă. Dacă totuși prețurile sînt mai mari prin cumulara celor de procurare și transport atât pentru materialul ce nu necesită sortare dar se află la distanță mai mare oît și pentru oel mai apropiat dar care necesită sortare, este de preferat soluția cu sistem binar. Stratul de bază va fi alcătuit din material adus de la una din cele două surse iar stratul superior va fi executat din materialul local nesortat, marea majoritate a produselor de balastieră fiind în stare nativă apte pentru introducerea în stratul superior al substratului. La alegerea sursei de aprovizionare nu trebuie neglijat nici faptul că de multe ori la sortare rezultă sorturi în exces care cu greu își găsesc utilitatea. Este cazul balastierelor de șes de la care rezultă material nisipos cu pondere mai mare comparativ cu celelalte sorturi, nisip care de multe ori este apt pentru substrat. Toste aceste aspecte trebuie avute în vedere de proiectant atunci cînd este pus în situația de a discerne asupra sursei celei mai indicate sub aspectul tehnico-economic.

Metodologia de proiectare propusă de autor pe baza cercetărilor proprii, are ca scop final realizarea unui substrat fiabil, cu o durată de serviciu practic nelimitată, stabil și ieftin.

Concluzionînd, rezultă că la proiectarea substratului căii ferate vor trebui parcurse în mod obligatoriu următoarele etape:

- culegerea datelor de teren și prelevarea probelor din terasament și sursele posibile pentru materialul din substrat;
 - analize de laborator;
 - stabilirea granulozității optime a substratului și alegerea sursei economice de aprovizionare;
 - determinarea grosimii minime a substratului;
 - stabilirea lățimii necesare a substratului;
 - precizarea tehnologiei de executare a substratului.
- În acest lanț, dintre etapele de proiectare propriu-zise, cea

mai importantă este cea referitoare la granulozitatea substratului și de aceea ei va trebui să i se acorde o atenție specială deoarece de alegerea judicioasă a curbei granulometrice a substratului depinde în primul rând calitatea și prețul substratului.

4.1.3. Cîteva exemple practice de lucru la proiectarea substratului căii

Pe unele cazuri concrete, se detaliază practic metodologia de proiectare a substratului căii, parcurgîndu-se toate etapele enunțate. S-a ales ca exemplu și un sector de cale pe care granulozitatea substratului a fost în corelație corespunzătoare cu cea a terasamentului, calea respectivă cu trafic intens, comportîndu-se foarte bine în decursul timpului și după cum va rezulta, curba obținută prin metodologia de proiectare propusă este foarte apropiată de cea a substratului aflat actualmente în cale. Deși substratul respectiv nu a fost ales după criterii științifice, ele lipsind în momentul acela, hazardul a făcut ca el să fie corespunzător. Așa cum a rezultat însă din cercetările autorului, lăsînd stabilirea caracteristicilor substratului la voia întîmplării, se compromite din capul locului un element foarte important al infrastructurii căii, element care se va răzbuna foarte curînd, chiar de la darea în circulație a liniei, prin cheltuieli de întreținere și exploatare foarte mari, concomitent cu reducerea drastică a capacității de transport a sectorului respectiv.

Aspectul primordial ce trebuie avut în vedere la proiectarea substratului este cel al calității, dar după cum se va vedea și din exemplele prezentate, se poate obține un substrat fiabil și cu costuri reduse dacă activitatea de proiectare se face cu conștiințiozitate.

4.1.3.1. Linie magistrală cu condiții grele de trafic.

Pentru exemplificare se prezintă modul de proiectare al substratului căii pe tronsonul Roșiori-Căraoal al căii ferate București-Timișoara. Pe acest sector, traficul este deosebit de intens, cu garnituri ce se succed la intervale mici, tracțiunea electrică permițînd circulația unor garnituri lungi și cu viteze mari. În aceste condiții, proiectarea substratului trebuie făcută corespunzător pres-

cripțiilor severe. Pe baza metodologiei prezentate, la proiectarea substratului s-au parcurs etapele stabilite de autor, după cum urmează:

Culegerea datelor de teren. Pentru exemplul ales s-au prelevat probe de pe linia I, km. 131+550. Probele necesare stabilirii naturii terenului din terasament și a caracteristicilor granulometrice ale acestuia, s-au prelevat prin sondeaje deschise executate la km. 131+500, 131+550 și 131+600. Probele au fost puse în pungi din polietilenă și transmise a doua zi pentru analize la laborator.

Tot în sondeajele respective au fost executate penetrări cu penetrometrul tip ICPTT. Media celor trei medii selective pentru fiecare sondeaj a rezultat 14,49 daN.

Tot în acest moment al studiului au fost prelevate probe de zăcămint de la câteva balastiere apropiate, respectiv: Cirișoara, Scorei, Porumbacu de Jos (Glimboca 1 și 2), Groși, Bradu Olt și Racovița, toate amplasate pe Oltul inferior, în apropierea zonei studiate, probe care de asemenea au fost expediate la laborator pentru determinări. Au fost prelevate probe și din sortul 0 - 3 mm al balastierelor analizate.

Analize de laborator. Curbele granulometrice au fost stabilite prin metoda combinată (cernere și sedimentare) atât pentru probele din terasament cât și pentru cele din balastiere.

Pentru cele trei probe din terasament, curbele au prezentat o alură apropiată, curba medie fiind prezentată în figura 4.2. Rezultată că este vorba de o argilă prăfoasă, foarte sensibilă la îngheț, limitele de plasticitate fiind 42,8 și respectiv 12,6.

Stabilirea granulozității optime a substratului și alegerea surselor economice de aprovizionare. Din curba granulometrică a pământului din terasament, rezultă următoarele diametre pe fracțiuni: $d_{15t} = 0,0015$ mm; $d_{50t} = 0,017$ mm; $d_{85t} = 0,045$ mm.

Punctele între care trebuie să se încadreze curba granulometrică a substratului sînt:

$$A - 30 \cdot 0,0015 \text{ mm} = 0,045 \text{ mm}; \quad B - 2 \cdot 0,045 \text{ mm} = 0,090 \text{ mm}.$$

Condiția de paralelism a celor două curbe (punctul în dreapta cărui trebuie să se afle curba granulometrică a substratului) este:

$$C - 12 \cdot 0,017 \text{ mm} = 0,204 \text{ mm}.$$

După transpunerea acestor puncte pe figura 4.2, a rezultat că marea majoritate a sorturilor 0 - 3 mm de la balastierele menționate îndeplinește condiția ce se impune substratului. Utilizarea sorturilor acestea este rentabilă numai în cazurile în care ele rezultă în exces și nu au altă întrebuințare, unde ar fi mult mai nece-

sare și imposibil de înlocuit cu alte materiale granulare. Cum aceste cazuri sînt rare, aria de utilizare a nisipului depășind sfera construcțiilor de căi ferate, s-a căutat utilizarea materialului granular în stare naturală. Din curbele granulometrice determinate pentru fiecare zăcămint al balastierelor luate în studiu, numai cea a materialului de la Groși asigură limitele impuse de condiția de filtru invers pentru substrat, încadrîndu-se între cele trei puncte obligatorii. Acest nisip respectă și celelalte condiții impuse substratului și anume:

- grad de neuniformitate:

$$U_s = \frac{3,0}{0,05} = 60;$$

- dimensiunea maximă a granulei = 40 mm;

- granulele cu dimensiuni mai mari de 0,25 mm reprezintă 72% din totalul materialului.

Pentru comparație, în figura 4.2 pe lîngă curba granulometrică a pămîntului din terasament și cea a materialului propus pentru substrat, s-a suprapus și curba granulometrică a substratului aflat în cale și care s-a comportat foarte bine în cale o perioadă îndelungată de timp (11 mm înălțimea de migrare a particulelor fine din terasament în substrat).

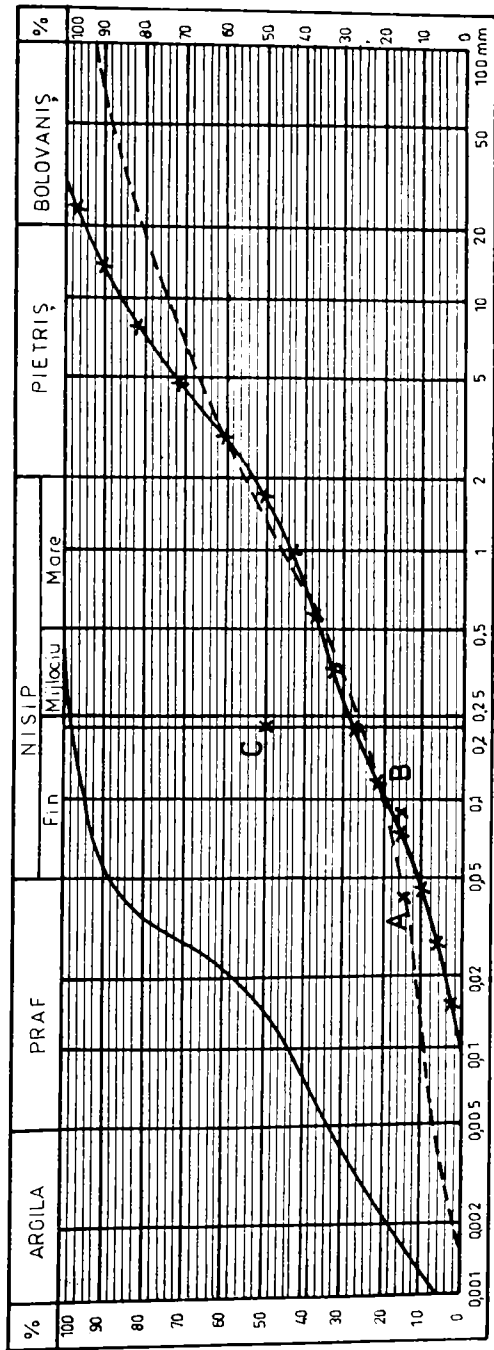
Determinarea grosimii minime a substratului s-a făcut prin introducerea valorii medii a penetrărilor în diagrama din figura 3.26 (curbele 2 și 3), rezultînd o grosime de 62 cm pentru materialele drenante de sub talpa traversei, rotunjit la multiplu de 5, rezultă 65 cm. Ținînd cont și de faptul că adîncimea de îngheț din zonă este de 85 cm, rezultă că grosimea substratului este dictată de condiția portanței terasamentului. Scăzînd grosimea patului din piatră spartă (30 cm), se obține grosimea substratului de 35 cm. Deoarece terasamentul este în debleu și nu are probleme deosebite de portanță și stabilitate, nu mai sînt necesare alte studii asupra acestuia.

Determinarea lățimii substratului. Avînd în vedere că pe sectorul respectiv linia este prevăzută cu bloc de linie automat, cablurile fiind pozate în săpătură, fără canal pentru cabluri, este suficient ca substratul să aibă o lățime care să depășească cu cel puțin 10 cm de-o parte și de alta baza prismeii căii.

4.1.3.2. Linie secundară industrială

Ca urmare a greutăților ivite la asigurarea cu produse de ba-

Fig.4.2. COMPOZITIA GRANULOMETRICA



Terasament

- ∅ < 0,005 mm 31 % argilă
- 0,005 < ∅ < 0,05 mm 55 % praful
- 0,05 < ∅ < 0,25 mm 10 % nisip fin
- 0,25 < ∅ < 0,50 mm 4 % nisip mijlociu
- 0,50 < ∅ < 2,00 mm % nisip mare
- 2,00 < ∅ < 20,00 mm % pietriș
- ∅ < 20,00 mm % bolovaniș

LEGENDA

- Terasament
- x — Substrat pr.
- - - Substrat ex.

Modul de lucru : Metoda combinată
Data 20.04.73

$$U_{spr} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{3,0}{0,05} = 60$$

lastieră pentru substrat la extinderea oăilor ferate din portul Constanța, s-a cerut autorului soluția înlocuirii acestor materiale deficitare cu altele locale, ce se puteau găsi în cantități mai mari și la preț redus [110]. În acest caz proiectarea substratului a avut ca obiect numai stabilirea granulozității materialului drenant din substrat.

Culegerea datelor de teren. Au fost prelevate mai multe probe turburate de pământ din sursele propuse pentru executarea terasamentului. De asemenea s-au prelevat probe de la Movila Goală la care unele sorturi rezultau în exces și nu erau solicitate.

Analize de laborator. În figura 4.3 se prezintă curba granulometrică a pământului care a fost utilizat în final la executarea terasamentului.

Stabilirea granulozității substratului. Diametrele pe fracțiuni pentru pământul din terasament sînt: $d_{15t} = 0,0015$ mm; $d_{50t} = 0,007$ mm; $d_{85t} = 0,039$ mm.

Limitele care dirijează curba granulometrică a substratului (stabilite pe baza normelor pentru linii secundare) sînt:

$$\begin{aligned} A - 10 \cdot 0,0015 \text{ mm} &= 0,015 \text{ mm}; & B - 3 \cdot 0,039 \text{ mm} &= 0,117 \text{ mm}; \\ C - 12 \cdot 0,007 \text{ mm} &= 0,084 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Dintre sursele cercetate, a rezultat că sortul 0 - 3 mm de la cariera Movila Goală se încadrează cel mai bine între aceste limite (fig. 4.3), îndeplinind și restul de condiții ce se impun granulozității substratului:

- gradul de neuniformitate:

$$U_s = \frac{0,45}{0,02} = 22,5$$

- dimensiunea maximă a granulei = 3 mm;

- granulele cu dimensiuni mai mari de 0,25 mm reprezintă 52% din totalul materialului.

Din exemplele prezentate rezultă metodologia de proiectare cît mai corectă a substratului oăii, astfel ca acesta să-și poată îndeplini funcțiile pentru care este folosit, în condiții de eficiență tehnico-economică cît mai ridicată.

4.2. STUDII CU PRIVIRE LA TEHNOLOGIILE DE EXECUTARE A SUBSTRATULUI CAII FERATE

Pe lîngă o proiectare corespunzătoare, pentru a se realiza un

substrat de calitate, este necesar ca și punerea în operă a sa să se facă pe baza unor tehnologii adecvate. Necesitatea întocmirii proceselor pentru punerea în operă a substratului rezidă din multitudinea de situații în care se cere executarea acestuia, cum ar fi de exemplu la o linie nouă sau la o linie aflată deja în exploatare și pe care se execută reparația substratului existent sau introducerea substratului care nu s-a introdus la executarea oșii.

Procesele tehnologice referitoare la executarea substratului comportă două aspecte distincte și anume:

- tehnologia de așternere a substratului pentru fiecare caz concret în parte;
- tehnologia de compactare a acestuia, astfel încât să se realizeze caracteristicile impuse prin proiectare, la consum minim de timp și energie.

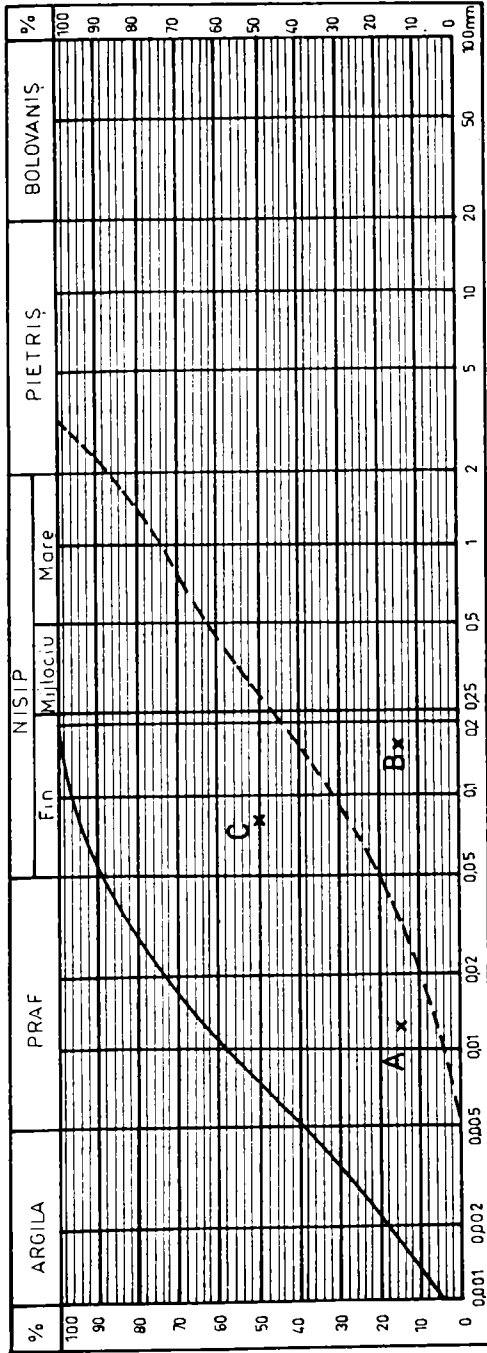
Problema realizării proceselor tehnologice pentru substrat este relativ recentă, mai ales în ceea ce privește cazul liniilor aflate în exploatare. Pe rețeaua căilor ferate române, acest aspect a apărut odată cu înlocuirea balastului din prisma oșii cu piatra spartă, moment în care materialul existent până atunci în prisma oșii a devenit un fel de substrat (prin ridicarea liniei deasupra balastului ce formează prisma oșii și înglobarea traverselor în piatra spartă). De la acea dată, pe liniile noi magistrale, s-a considerat util și s-a prevăzut introducerea substratului în toate construcțiile liniilor noi.

Individual [106], [108] și în cadrul unui colectiv de cercetare care a studiat tehnologii noi pentru întreținerea oșii [83], autorul a făcut cercetări de îmbunătățire a tehnologiilor de executare existente și a propus altele noi, în special dintre cele ce se referă la introducerea substratului pe liniile aflate în circulație și la care fie oș substratul a fost inexistent, fie oș s-a degradat datorită proiectării, executării sau întreținerii necorespunzătoare.

La stabilirea sau îmbunătățirea tehnologiilor de executare a substratului, autorul s-a condus în cercetare după următoarele principii:

- mecanizarea la maximum a lucrărilor;
- realizarea unor consumuri energetice minime;
- folosirea unor utilaje ce se află în dotarea curentă a unităților de execuție și întreținere, în ideea folosirii bazei materiale existente;
- desfășurarea lucrărilor în flux continuu, pe front larg, cu productivitate ridicată, evitarea strângulărilor și suprapunerilor;
- alegerea acelor fluxuri tehnologice care să elimine circulația utilajelor pe sectoare finisate, pe care urmează să se treacă la o nouă fază de execuție, pentru a se evita degradările de orice natură.

Fig.4.3. COMPOZIȚIA GRANULOMETRICĂ



Terasament

- Ø < 0,005 mm 40 % argilă
- 0,005 < Ø < 0,05 mm 49 % praf
- 0,05 < Ø < 0,25 mm 11 % nisip fin
- 0,25 < Ø < 0,50 mm % nisip mijlociu
- 0,50 < Ø < 2,00 mm % nisip mare
- 2,00 < Ø < 20,00 mm % pietriș
- Ø < 20,00 mm % bolovaniș

LEGENDA

- Terasament
- - - Substrat

Modul de lucru: Metoda combinată

Data : 17.06.76

$$U_s = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,45}{0,02} = 22,5$$

4.2.1. Studii cu privire la executarea substratului oăii în cazul liniilor noi

Din punct de vedere al volumului, acest caz este cel mai frecvent întâlnit, el oferind posibilitatea lucrului pe un front deschis, influențând favorabil calitatea și productivitatea execuției. Pe lângă liniile noi, asemenea condiții de execuție se mai întâlnesc și în cazul liniilor aflate în exploatare la care datorită unor defecțiuni majore ale infrastructurilor (pungi de balast, substrat absent sau necorespunzător etc.) circulația este deviată pe variante provizorii.

4.2.1.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului

Înainte de a se trece la așternerea materialului pentru executarea substratului, este obligatoriu să fie terminate sistemele de drenare iar fața superioară a terasamentului să fie compactată conform proiectului de execuție și prescripțiilor tehnice, cu pante de scurgere plane și continue. Eventualele mici defecte se corectează, făcându-se trecerea finală cu ruloul neted, după care se interzice cu desăvârșire circulația pe terasament.

Deși în principiu tehnologia de executare a substratului în cazul terasamentelor noi sau a celor de pe care a fost demontată suprastructura în vederea reparațiilor infrastructurii este relativ bine cunoscută, s-a considerat util a se aduce unele îmbunătățiri deoarece pe baza constatărilor personale s-a observat că se fac unele greșeli tehnologice care influențează de multe ori negativ comportarea ulterioară a oăii. Astfel s-a constatat că cele mai mari defecte apar ca urmare a faptului că prin circulația pe terasamentul finisat se distruge continuitatea și planitatea suprafețelor ce limitează superior terasamentele, apărând zone în care apa stagnează timp îndelungat sau chiar permanent. În punctele respective, ca urmare a reducerii portanței se vor forma pungi de balast. Din acest motiv s-a studiat un proces tehnologic care previne circulația ulterioară pe terasament după finisarea acestuia.

Etapelc principale ale acestui flux tehnologic sînt (fig. 4.4▲)

- executarea (sau repararea) terasamentului și sistemelor de drenaj conform proiectului de execuție, cîietului de sarcini și

prescripțiilor tehnice;

- controlul și eventualcele reparații ale feței superioare a terasamentului (planeitatea și continuitatea suprafețelor și pantelor de scurgere);

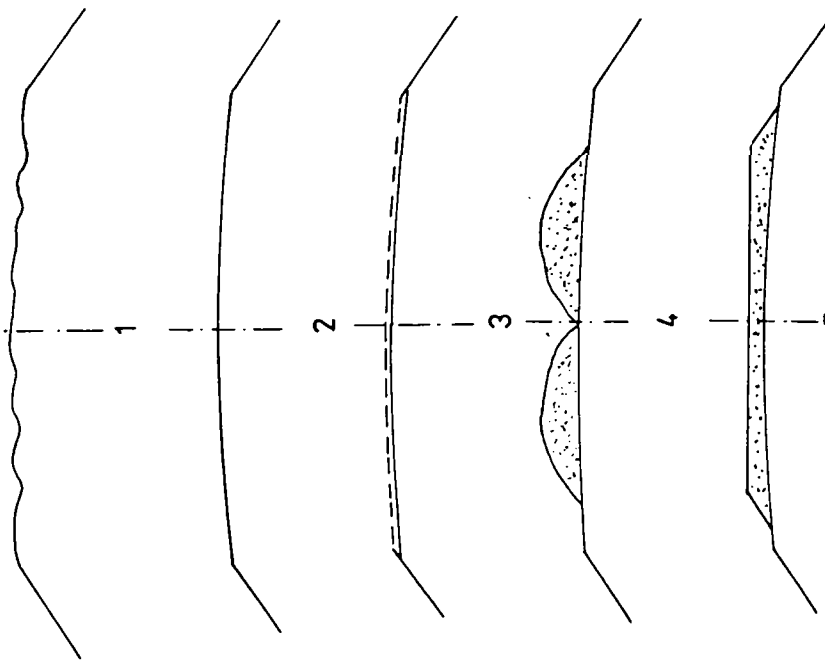
- compactarea finală cu rulouri netede a terasamentului;
- transportul și împrăștierea materialului pentru substrat.

În cazul în care substratul este alocătuît în sistem binar sau grosimea lui nu permite executarea dintr-un singur strat, tehnologia realizării stratului de bază este identică cu cea a realizării substratului într-un singur strat, executarea straturilor superioare făcîndu-se fără precauții speciale deoarece terasamentul este deja protejat de stratul așternut la bază. Astfel, în vederea conservării suprafețelor de scurgere a apei de pe terasament, se consideră indicat ca transportul materialului pentru substrat să se facă cu deplasarea laterală a autobasculantelor în cazul terasamentelor în profil zero. În cazul rambleurilor sau debleurilor mari, ce nu permit bascularea laterală a materialului pentru substrat, utilajele de transport se vor deplasa pe terasament prin retragere, numai pe zonele pe care materialul pentru substrat a fost deja întins. Acest lucru s-a putut și se poate realiza prin deplasarea autobasculantelor în mers înapoi și descărcarea materialului. El este apoi întins cu un buldozer ușor, compactat parțial, după care se permite circulația pe substrat a mijloacelor de transport care aduc alte serii de material, realizîndu-se astfel substratul din aproape în aproape.

Tot prin cercetări s-a mai constatat că o altă posibilitate de transport o constituie utilizarea de autobasculante ce baculează lateral. Ele se deplasează pe o jumătate de terasament și baculează materialul pe cealaltă jumătate. Operațiunea se execută între două puncte de acces pe terasament. După încheierea transportului pe porțiunea respectivă (materialul se transportă pentru primul strat sau pentru stratul unic corespunzător lățimii totale a terasamentului), se definitivează suprafața terasamentului (pentru a nu se scumpi lucrările, jumătatea afectată circulației nu se va finisa înaintea încheierii transportului) și cu același tip de buldozer se întinde materialul pe terasament, efectuîndu-se prima etapă a compactării. În situația în care punctele de acces sînt îndepărtate, după această fază se poate circula pe substrat. Se va urmări ca materialul din substrat să nu fie contaminat cu pămînt adus pe pneurile autobasculantelor.

- compactarea substratului și finisarea la dimensiunile proiect-

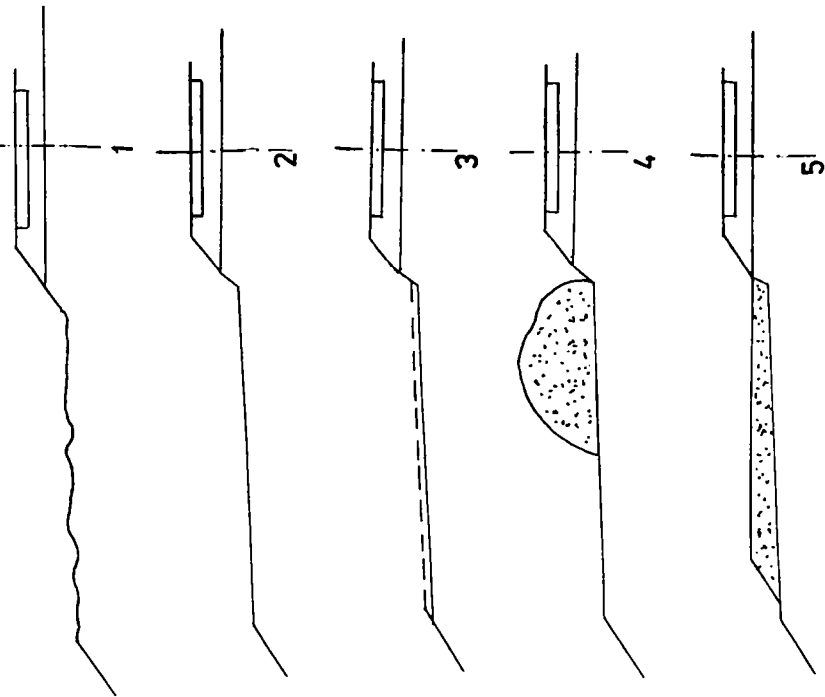
A. In cazul liniilor noi



DESCRIERE FAZE:

1. Executarea sau repararea terasamentelor și sistemelor de drenaj.
2. Finisarea feței superioare a platformei.
3. Compactarea finală.
4. Transportul materialului pe intru substrat.
5. Imprașterea, compactarea și finisarea substratului.

B. In cazul dublării de linii



1. Executarea sau repararea terasamentelor și sistemelor de drenaj.
2. Finisarea feței superioare a platformei.
3. Compactarea finală.
4. Transportul materialului pe intru substrat.
5. Imprașterea, compactarea și finisarea substratului.

Fig. 4.4. PROCESUL TEHNOLOGIC DE EXECUTARE A SUBSTRATULUI CAII FERATE

tate. La stabilirea volumului materialului transportat este necesar a se ține cont de gradul de înfoiere (circa 30%) astfel încât prin compactare să se obțină grosimea prevăzută în documentația de execuție.

Din experimentările făcute, rezultă principalele utilaje folosite pentru executarea substratului la liniile noi și anume: autobasculante, buldozere pe șenile S 650, gredere autopropulsate, încărcătoare frontale și utilajele compactoare (rulouri netede statice sau cele vibratoare și plăcile vibratoare).

4.2.1.2. Secoane experimentale în vederea verificării tehnologiilor studiate

Ca șef al brigăzii nr. 1, căi ferate din cadrul Antreprizei de Căi de Comunicații Călărași din cadrul Centralei Antrepriză Generală Construcții Căi Ferate București, autorul a experimentat procesul tehnologic propus pentru executarea substratului căii în cazul liniilor noi, la construcția unor căi ferate pe raza județului Călărași. Dintre acestea se prezintă lucrările făcute la linia I din cadrul grupei de primiri-expedieri a Combinatului Siderurgic Călărași. Această grupă, compusă din 8 linii, face legătura cu capătul Y al stației Călărași Nord, prin ea făcându-se joncțiunea rețelei CFR cu triajul și toate căile ferate ale combinatului (fig. 4.5).

În zona respectivă, înălțimea rambleului era cuprinsă între 0,40...1,30 m. După aducerea la cotă a terasamentului, s-au executat pantele transversale de sorgere a apelor și drenurile. În momentul în care s-au încheiat lucrările și eventualele remedieri aferente terasamentelor și drenajelor, s-a trecut la executarea substratului.

Dintre elementele definitorii ale substratului, respectiv granulozitatea, grosimea și lățimea, proiectul de execuție făcea precizări asupra grosimii (15 cm) și lățimii (pe toată lățimea celor 8 linii din grupă). În vederea stabilirii tipului de material ce se va folosi pentru substrat, autorul a prelevat probe din terasament și din cele două surse de material granular avute la dispoziție: nisip de Dunăre și Doaga. Din curba granulometrică a pământului din terasament (fig. 4.6) au rezultat punctele printre care trebuie să se încadreze curba granulometrică a materialului din substrat pentru cazul liniilor secundare:

A - 10 · 0,002 mm = 0,02 mm; B - 3 · 0,031 mm = 0,093 mm;

C - 12 · 0,017 = 0,204 mm.

Rezultă că nisipul mijlociu de Doaga este cel mai indicat pentru a fi utilizat în substrat. În această situație s-a solicitat aprovizionarea cu nisipul respectiv, care a fost transportat cu trenul și descărcat pe rampa amenajată pe linia 0 a triajului, linie aflată în circulație.

Executarea substratului s-a făcut pe acest sector experimental în următoarele etape:

- s-a încărcat nisipul în autobasculante de 16 t cu încărcătoare frontale tip L 34;

- s-a descărcat nisipul pe amplasament prin deplasarea în mers înapoi a autobasculantelor. Înaintarea s-a făcut de la nord spre sud. După descărcarea a 2...4 autobasculante, cu ajutorul unui buldozer pe șenile de tip ușor (S 650) s-au întins grămezile din nisip în structuri de circa 20 cm grosime. După întinderea nisipului, buldozerul s-a retras pentru a permite descărcarea a altor 2...4 autobasculante, apoi fiind întinse și noile grămezi, și așa mai departe, în același sistem;

- după așternerea a 50...60 m, s-a întrerupt transportul pentru a se compacta substratul. S-au folosit rulouri netede și compactoare pe pneuri. Compactarea a început de la margine (spre linia 0) spre ax și în continuare spre linia II. Benzile de compactare s-au suprapus în lățime pe 20...30 cm, efectuându-se câte 6...8 treceri. Zonele degradate prin circulație accidentală s-au refăcut cu ajutorul autogrederului AG 180 și apoi recompactat.

În vederea reducerii distanțelor de mers înapoi a autobasculantelor și evitarea circulației pe zonele finisate, s-au prevăzut puncte de întoarcere la 60...70 m, iar unde terasamentul liniei a II-a a fost executat, transportul nisipului s-a făcut și pe acesta, prin basculare în amplasamentul liniei I. S-a încercat și utilizarea autocarsetelor cu basculare laterală, dar randamentul a fost mai redus datorită capacității mai mici (6,5 t) și a lungimii mai mari a parcursului.

După finisarea substratului s-a trecut la așternerea patului din piatră spartă și montarea suprastructurii.

4.2.1.3. Concluzii cu privire la tehnologia de executare aplicată

În urma studierii, perfecționării și aplicării tehnologiei

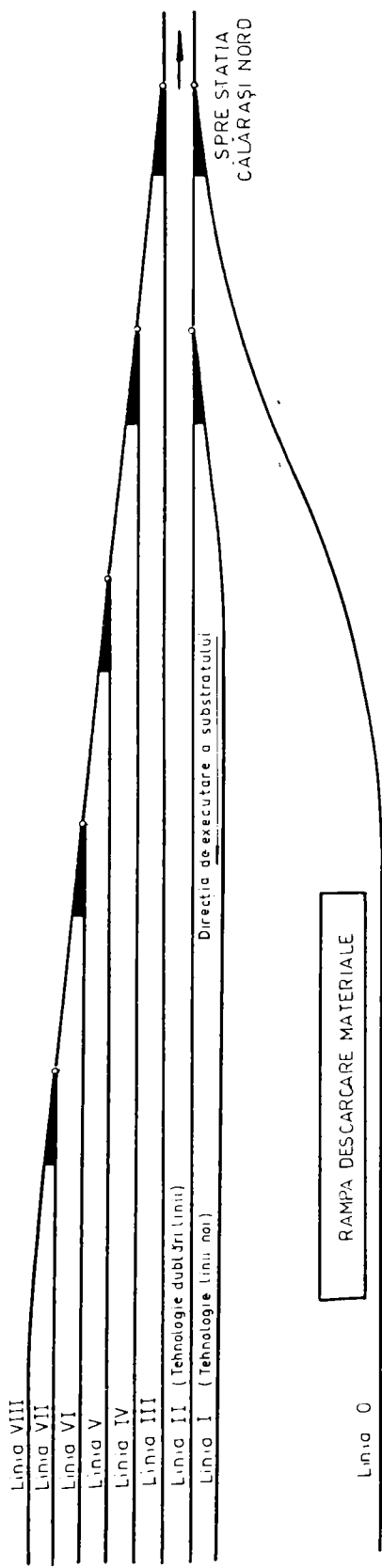
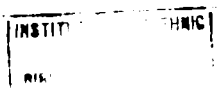
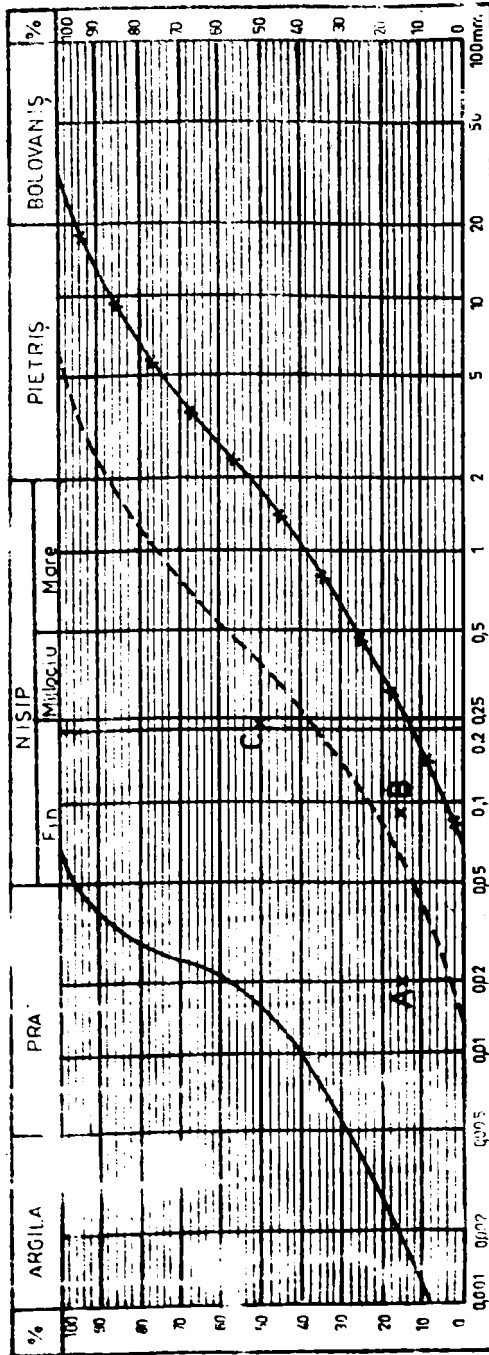


Fig. 4.5. Amplasarea sectoarelor pentru experimentarea proceselor tehnologice de executare a substratului în cazul liniilor noi și a liniilor ce se dublează.



COMPOZITIA VOLUMETRICĂ



Terasament

Modul de lucru : Metoda combinată
Data : 22.06.87

- 0,005 < Ø < 0,005 mm 27 % argilă
- 0,05 < Ø < 0,25 mm 68 % praful
- 0,25 < Ø < 0,50 mm 5 % nisip fin
- 0,50 < Ø < 2,00 mm % nisip mijlociu
- 2,00 < Ø < 20,00 mm % nisip mare
- Ø < 20,00 mm % pietriș
- Ø < 20,00 mm % bolvână

LEGENDA

- Terasament
- - - Nisip
- ... Bolvână

$$U_s = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,53}{0,045} = 11,7$$

de executare a substratului oăii în cazul liniilor noi, se pot trage următoarele concluzii:

1.- prin aplicarea tehnologiei propuse și studiată de autor, se realizează îmbunătățirea calității lucrărilor față de alte tehnologii, ca urmare a faptului că se elimină posibilitatea degradării lucrărilor executate anterior (terasamente și drenaje) precum și prin punerea în operă a nisipului din substrat;

2.- chiar dacă noua tehnologie poate produce o ușoară reducere a productivității muncii, este totuși recomandabilă deoarece aceasta permite atingerea unui înalt nivel de calitate a lucrărilor, facilitând realizarea unui substrat durabil, rezistent și fiabil, prin protecția corespunzătoare a terasamentului în timpul executării substratului.

4.2.2. Studii cu privire la executarea substratului oăii în cazul dublărilor de linii

În situația în care o linie se dublează, în general există posibilitatea ca în cadrul graficului de circulație de pe linia aflată în exploatare să se prevadă anumite ferestre de circulație în care să se poată aduce pe șantierul pe care se execută dublarea, materialele necesare. În acest fel, este posibilă executarea dublării liniei cu productivitate sporită și reducerea cheltuielilor materiale, pe baza unui proces tehnologic adecvat. Dacă traficul de pe linia existentă nu permite intercalarea transporturilor necesare șantierului, se va adopta tehnologia de executare specifică liniilor noi.

4.2.2.1. Studii privind tehnologiile de executarea a substratului

Ca și în cazul executării substratului pe liniile noi, și în cazul dublărilor de linii, pe baza analizei critice a diferitelor metode folosite pentru așternerea substratului la liniile ce se dublează, autorul a studiat, experimentat și definitivat o tehnologie productivă și economică prin care să fie posibilă executarea unui substrat de calitate. Tehnologia se aplică și în cazul reparațiilor la liniile duble existente atunci când condițiile de trafic permit închiderea completă a circulației pe linia aflată în reparație. Principalele operațiuni pentru realizarea tehnologiei men-

ționate sînt prezentate în figura 4.4 B:

- executarea (sau repararea) terasamentului și sistemelor de drenaj conform proiectului de execuție, caietului de sarcini și prescripțiilor tehnice;
- controlul și eventuale reparații ale feței superioare a terasamentului (planeitatea și continuitatea suprafețelor și pantelor de scurgere);
- cilindrarea finală cu rulouri netede;
- transportul nisipului pe linia aflată în circulație cu vagoane basculante autodescărtoare și așternerea lui în substrat; în cadrul acestor operațiuni trebuie acordată o mare atenție modului în care se deplasează utilajele care asigură gabaritul de liberă trecere și împrăștierea materialului pe terasament. În acest sens, asigurarea gabaritului, deplasarea și împrăștierea nisipului se vor face din aproape în aproape, utilajele respective (cele mai indicate fiind buldozerele pe șenile tip S 650) urmînd să se deplaseze numai pe nisip, și nu pe terasament, pentru a se preveni degradările;
- compactarea substratului și finisarea la dimensiunile din proiect.

Principalele utilaje ce-au rezultat ca necesare pentru executarea substratului în cazul dublărilor de linii sînt: garnituri de tren cu vagoane basculante autodescărtoare, buldozere pe șenile S 650, gredere autopropulsate, rulouri compactoare, rulouri netede, compactoare pe pneuri.

4.2.2.2. Sectoare experimentale în vederea verificării tehnologiei studiate

Testarea tehnologiei studiate s-a făcut tot în cadrul grupei de primiri-expedieri a triajului Combinatului Siderurgic Călărași, pe linia II-a a acestuia (fig. 4.5). S-a utilizat același material pentru substrat ca și în cazul liniei I-a, respectiv nisip mijlociu de Doaga. Linia I care era deja construită în momentul executării liniei II, a servit pentru transportul nisipului expediat de la balastiera Doaga cu vagoane basculante autodescărtoare. Față de cazul curent al dublărilor de linii, în acest amplasament a existat avantajul că prin proiect era prevăzut substrat pe întreaga platformă a grupului de linii, motiv pentru care pentru a se evita circulația buldozerele pe terasament, atunci cînd s-a executat substratul liniei I, s-a împrăștiat nisip pe lățime mai mare decît cea aferentă liniei

respectiv, creindu-se în avans un pat pe care să poată circula buldozerele. Din aproape în aproape, a fost executat substratul la restul liniilor din grupă, pe baza acestei tehnologii. Faptul că în cazul acestor linii a fost posibilă executarea în avans a patului din balast, a contribuit la creșterea productivității, tehnologia fiind posibil de aplicat fără probleme la dublarea liniilor de cale ferată.

Pe această zonă experimentală s-a lucrat în următoarele faze:

- finisarea terasamentului și drenajelor;
- introducerea garniturii cu vagoane basculante autodescărcătoare pe linia I (fig. 4.5);
- bascularea nisipului spre linia II;
- asigurarea gabaritului de liberă trecere pentru garnitură, scoțarea acesteia de pe linia I și expedierea la balastieră;
- întinderea nisipului pe terasament;
- compactarea nisipului (similar ca pentru cazul liniilor noi);
- introducerea patului din piatră spartă și montarea liniei.

4.2.2.3. Concluzii cu privire la tehnologia de executare aplicată

Analiza critică a procedeelor utilizate pentru executarea substratului în cazul dublărilor de linii, perfecționarea și experimentarea acestora, permit tragerea următoarelor concluzii:

1.- prin utilizarea capacității liniei aflate în circulație de a permite transportul materialelor de masă, inclusiv al nisipului pentru substrat, cu descărcarea direct la locul de punere în operă, se asigură lucrul pe front deschis, cu productivitate ridicată și cheltuieli materiale reduse;

2.- tehnologia experimentată de autor permite în plus și realizarea unor lucrări de bună calitate, ca urmare a faptului că fluxul tehnologic asigură protecția lucrărilor efectuate anterior (terasamente și drenaje), așternerea și compactarea corespunzătoare a substratului.

4.2.3. Studii cu privire la executarea substratului căii în cazul reparațiilor de linii

În cadrul reparației căii se efectuează reparația capitală a

acesteia, înlocuindu-se în totalitate elementele suprastructurii ce prezintă uzuri și reparându-se infrastructura, astfel încât în final parametrii constructivi și de exploatare ai căii să fie asemănători cu cei ai unei linii noi.

4.2.3.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului

Spre deosebire de cazurile anterioare, refacția căii trebuie să se facă în intervale scurte de timp, în care circulația este oprită pe zonele de lucru, după deschiderea circulației fiind necesar ca traficul să se desfășoare în condiții de siguranță deplină iar restricțiile de viteză trebuie să fie cât mai reduse, atât ca durată, cât și ca plafon de viteză. Din aceste considerente, la perfecționarea tehnologiei de refacție a căii, pe lângă includerea unei faze în care se introduce substratul, autorul a mai avut în vedere și următoarele:

- tehnologia să pretindă închideri de circulație cât mai reduse;
- utilajele folosite să fie deja în dotarea unităților executante;
- prin calitățile sale, substratul să nu fie elementul care să condiționeze viteza maximă de circulație, atât în perioada refacției cât și în timpul exploatării curente a căii.

În cadrul operațiilor de pregătire a refacției este necesară constatarea prin sondaje a situației substratului (existența sau absența sa, grosimea, gradul de colmatare, lățimea) precum și a terasamentului, astfel încât în momentul declanșării lucrărilor să fie cunoscute toate elementele necesare executării unui substrat corespunzător (grosime, lățime, sursă de material, asigurarea compactării etc.).

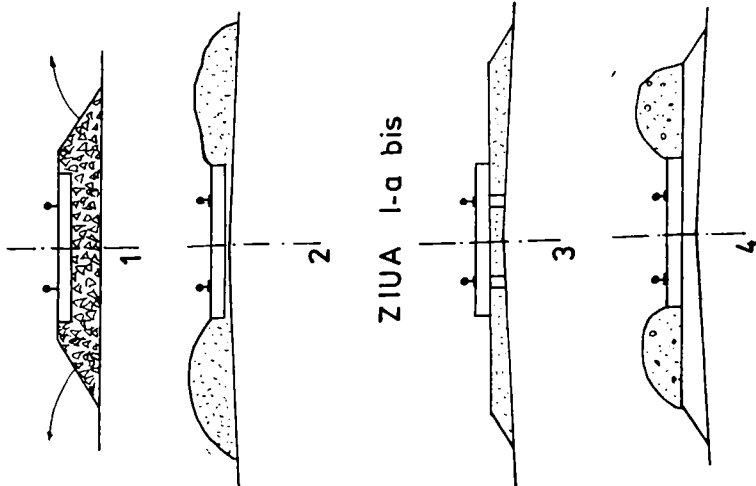
După stabilirea acestor elemente, se poate trece la executarea refacției căii cu introducerea substratului, lucrările executându-se pe zile, în următoarele etape (fig. 4.7):

Ziua I-a:

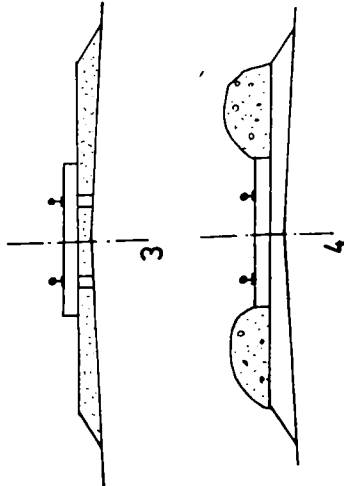
- închiderea circulației;
- ciuruirea pietrei sparte din prisma căii cu mașina de ciuruit. Materialul care se recuperează se încarcă în vagoane sau se depozitează în afara căii. În situația în care calea nu are substrat, este necesar ca mașina de ciuruit să ajungă până la baza prismei căii, executând dacă este cazul și panta transversală cu înclinarea de 4...5% spre unul dintre taluzuri. Ulterior această pantă va fi continuată pe întreaga față superioară a terasamentului;

- introducerea în cale a nisipului pentru substrat cu vagoanele dozatoare. În cazul substratului alcătuit dintr-un singur strat, se

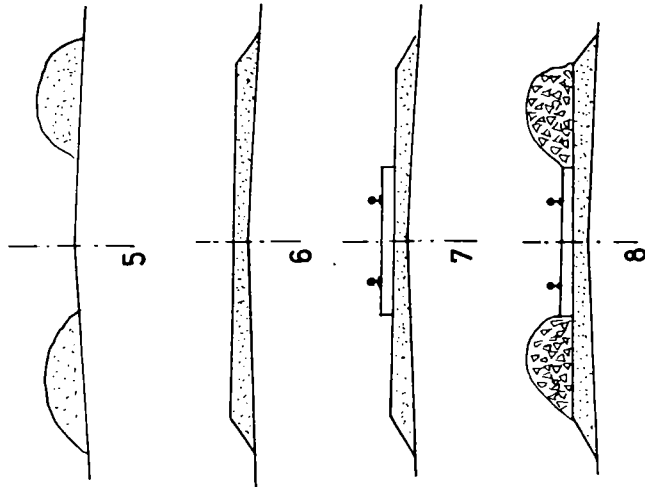
ZIUA I-a



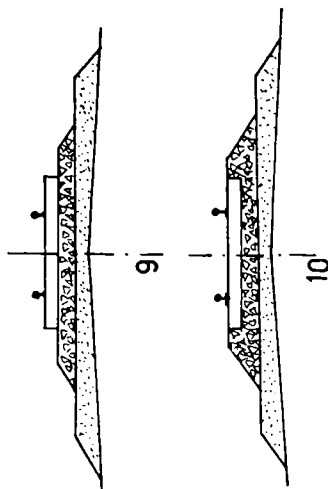
ZIUA I-a bis



ZIUA II-a



ZIUA III-a



DESCRIERE FAZE :

1. Ciuruirea pietrei sparte.
2. Descărcarea nisipului pentru substrat.
3. Ridicarea căii, împrăștierea și nivelarea nisipului.
4. Descărcarea balastului pentru substrat.
5. Demontarea suprastructurii.
6. Împănștieră și compactarea substratului.
7. Montarea suprastructurii.
8. Descărcarea pietrei sparte.
9. Ridicarea căii, introducerea pietrei sparte.
10. Buraje, ripări, completări cu piatră spartă.

Fig. 4.7. PROCESUL TEHNOLOGIC DE EXECUTARE A SUBSTRATULUI CAILI
IN CAZUL REFACTIILOR DE LINII

introduce nisip atît cît este necesar pentru realizarea grosimii cerute de proiect, ținîndu-se cont și de gradul de înfoiere. Pînă în ziua următoare, nisipul va juca rolul prismei căii, asigurînd menținerea stabilității căii;

- deschiderea circulației cu restricție de viteză.

Ziua I-a bis:

Aceste operațiuni se execută numai la liniile la care substratul este alcătuit în sistem binar.

- închiderea circulației;
- ridicarea căii peste nisipul introdus anterior;
- întinderea și nivelarea nisipului pe toată lățimea substratului;
- coborîrea căii pe substrat;
- introducerea în cale a balastului pentru stratul superior al substratului, cu vagoane dozatoare;
- deschiderea circulației cu restricție de viteză.

În cazul liniilor cu substrat alcătuit numai dintr-un strat din nisip, de la operațiunile executate în ziua I-a se trece a doua zi direct la restul de operațiuni, respectiv:

Ziua II-a:

- închiderea circulației;
- demontarea în panouri a suprastructurii vechi și transportul ei la baza de lucru;
- nivelarea substratului;
- compactarea substratului;
- introducerea în cale a patului din piatră spartă și compactarea lui (numai cînd este depozitată pe terasament sau poate fi adusă cu mijloace auto);
- montarea panourilor noi suprastructuri;
- introducerea pietrei sparte cu vagoane dozatoare;
- deschiderea circulației cu restricție de viteză.

Ziua III-a:

- închiderea circulației;
- completarea prismei căii cu piatră spartă;
- punerea la punct provizorie a căii (buraj, ripare);
- eventuale completări cu piatră spartă;
- darea în circulație a liniei cu restricție de viteză.

Ulterior se efectuează și restul de lucrări necesare atingerii vitezei de circulație prescrise pe tronsonul respectiv, refacerea continuității pantelor de pe fața superioară a terasamentului etc.

Avînd în vedere că viteza de înaintare a refacției depinde de

cea a mașinii de ciuruit și durata închiderii de circulație, zilnic se realizează cel puțin 300 m de reparație capitală a căii. Desfășurându-se în flux continuu, lucrările se întind pe parcursul a 2...3 km (măsurăți între punctul de ciuruire și oel de unde viteza de circulație nu mai este restricționată) și a 7...8 zile, măsurate între aceleași momente.

În afara fazelor preconizate, mai pot apărea și altele, cerute de condițiile locale, ca de exemplu zone cu defecte de terasament. În acest caz, autorul consideră că se impune introducerea unei faze cu durată de asemenea de o zi, în care, cu vechea suprastructură demontată să se facă reparația terasamentului (refacere pantă, recom-pactări, eliminarea albiei și punși de balast etc.). Din încercările făcute experimental au rezultat principalele utilaje ce sînt necesare pentru refacerea oăii cu introducerea substratului și anume: mașina de ciuruit prisma căii, tren de lucru cu vagoane dozatoare, dispozitive de ridicat calea, buldozere S 650, autogredere, utilaje pentru compactat (rulouri vibratoare, rulouri netede, compactoare pe pneuri, plăci vibratoare), mașini de burat calea și profilat prisma căii.

4.2.3.2. Concluzii cu privire la tehnologia de executare studiată

Datorită faptului că autorul nu a avut posibilitatea testării pînă la această dată a tehnologiei prezentate trecîndu-se prin toate fazele, nu este posibilă tragerea unor concluzii definitive pe situații concrete, ci numai pe baza studiilor efectuate și a unor cercetări pe faze, în principal rezultă:

- 1.- chiar și cu actuale dotare a unităților executante, este posibilă introducerea sau completarea substratului oăii în cadrul re-facțiilor ce se fac la cale;
- 2.- pentru simplificarea tehnologiei, se recomandă ca substratul să fie alcătuit dintr-un singur strat;
- 3.- se impune adaptarea mașinii de ciuruit prisma căii în vederea asigurării posibilității ca odată cu ciuruirea să permită și in-troducerea substratului.

4.2.4. Studii cu privire la executarea substratului căii în cazul reparațiilor radicale

Reparațiile radicale sînt operațiuni de întreținere a căii mai reduse ca amploare decît refacțiile de linii, prin care se realizează în principal ciuruirea pietrei sparte cu mașina de ciuruit, înlocuirea parțială a elementelor de suprastructură ce prezintă uzuri, în special traverse și material mărunt, remedieri ale pozei, prinderilor etc.

4.2.4.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului

Ca și în cazul refacțiilor, reparațiile radicale se execută în intervale în care circulația este închisă pe sectorul respectiv, la expirarea timpului de închidere a circulației urmînd ca traficul să se desfășoare temporar cu restricție de viteză dar în condiții depline de siguranță a circulației.

Tehnologia de executare a reparațiilor radicale cu introducerea substratului studiată de autor, cuprinde, pe zile, următoarele etape principale (fig. 4.8) (operațiile de pregătire sînt identice cu cele prezentate în cazul refacțiilor):

Ziua I-a:

- închiderea circulației;
- ciuruirea pietrei sparte din prisma oșii (cu aceleași recomandări ca în cazul refacțiilor);
- introducerea în cale a nisipului pentru substrat cu vagoane dozatoare;
- deschiderea circulației cu restricție de viteză.

Ziua II-a:

- închiderea circulației;
- ridicarea oșii peste nisipul introdus anterior;
- întinderea și nivelarea nisipului pe toată lățimea substratului;
- coborîrea oșii pe substrat;
- introducerea pietrei sparte cu vagoane dozatoare (în cazul substratului alcătuit dintr-un singur strat) sau a balastului (în cazul substratului alcătuit în sistem binar);
- deschiderea circulației cu restricție de viteză.

Ziua II-a bis:

Aceste operațiuni se execută numai la liniile la care substratul este alcătuit în sistem binar.

- închiderea circulației;
- ridicarea căii peste balastul introdus anterior;
- întinderea și nivelarea balastului pe toată lățimea substratului;
- introducerea pietrei sparte cu vagoane dozatoare;
- deschiderea circulației cu restricție de viteză.

Ziua III-a:

- închiderea circulației;
- ridicarea căii peste piatra spartă;
- punerea la punct sumară a căii (ripare, buraj);
- introducerea în cale a pietrei sparte pentru completare cu vagoane dozatoare;
- deschiderea circulației cu restricție de viteză.

În continuare se asigură aceleași operațiuni de întreținere a căii ca și în cazul reparațiilor, până la atingerea vitezei maxime de circulație prescrise pe sectorul respectiv.

De asemenea, este absolut obligatorie efectuarea operațiunilor de finisare a feței superioare a terasamentului în vederea asigurării planității și continuității pantelor de scurgere a apelor. Astfel, pantele realizate de mașina de ciuruit prisma căii la nivelul feței superioare a terasamentului (în special în cazurile în care substratul nu a fost introdus inițial) vor fi continuate până la marginea terasamentului (la punctul de pornire al taluzurilor la rambleuri sau la șanțurile de scurgere în cazul debleurilor).

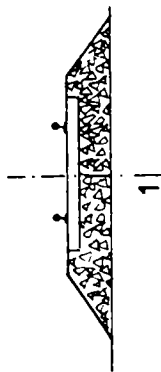
Utilajele folosite pentru executarea substratului în cazul reparațiilor radicale sînt aceleași cu cele arătate în cazul reparațiilor.

4.2.4.2. Concluzii cu privire la tehnologia de executare studiată

Analiza tehnologiei de executare a substratului căii în cadrul reparațiilor radicale studiată (autorul nu a avut încă posibilitatea experimentării complete a acesteia) permite tragera următoarelor concluzii:

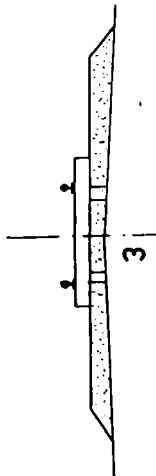
- 1.- în cadrul reparațiilor radicale este posibilă introducerea sau completarea substratului;
- 2.- proiectarea substratului din nisip într-un singur strat simplifică tehnologia de executare;
- 3.- adaptarea mașinii de ciuruit piatra spartă din prisma căii în vederea realizării substratului chiar în timpul ciuruirii pietrei sparte se impune.

ZIUA I a



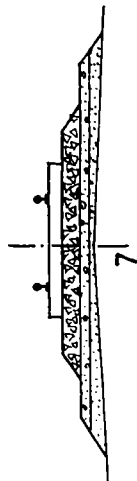
1

ZIUA II a

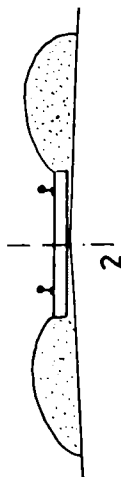


3

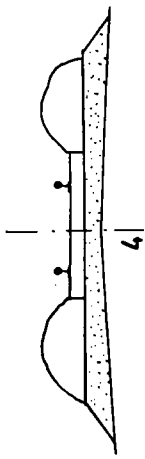
ZIUA III a



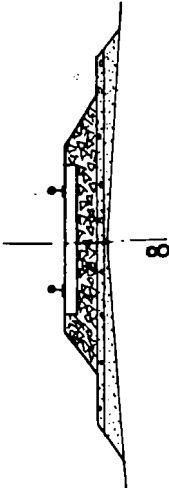
7



2

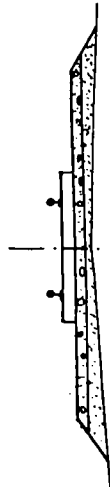


4



8

ZIUA II a bis



5

DESCRIERE FAZE

1. Ciuruirea pietrei sparte.
2. Descărcarea nisipului pentru substrat.
3. Ridicarea căii, împrăștierea și nivelarea nisipului.

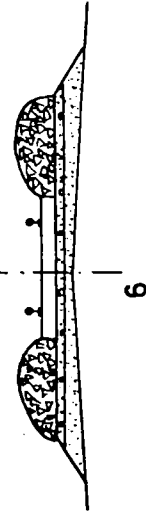
4. Descărcarea materialului (piatră spartă sau balast).

5. Ridicarea căii, împrăștierea și nivelarea balastului.

6. Descărcarea pietrei sparte.

7. Ridicarea căii, introducerea pietrei sparte.

8. Riparea, burarea, finisarea.



6

Fig. 4. 8 PROCESUL TEHNOLOGIC DE EXECUTARE A SUBSTRATULUI

4.2.5. Studii cu privire la executarea substratului căii în cazul reparațiilor periodice și a întreținerii căii

Reparațiile periodice se execută la intervale de 3...5 ani și au ca scop repararea și readucerea în parametri admiși a elementelor căii și în special a suprastructurii, prin ciuruirea pietrei pe părțile aflate la capetele traverselor, înlocuirea traverselor cu afecte mari, verificarea și înlocuirea (în proporție redusă) prințerilor. Prin întreținerea curentă a căii se asigură în principal menținerea căii în normele și toleranțele prescrise (ecartament, nivel transversal și în lung) pe baza burajelor și ripărilor, dar și unor mici reparații ce nu pot fi amânate. În general aceste lucrări se execută sub circulație.

4.2.5.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului

În asemenea condiții este mai puțin indicată introducerea substratului datorită calității mai slabe a execuției precum și a productivității reduse, deoarece marea majoritate a operațiunilor se execută manual. Se poate introduce totuși substratul cu tehnologia îmbunătățită de autor în anumite puncte izolate, care periclitează siguranța circulației sau fluența traficului. Lucrările respective vor avea caracter provizoriu, urmînd ca la prima ocazie, substratul să fie refăcut pe tot sectorul, pe baza uneia dintre tehnologiile prezentate anterior. În acest scop, se vor parcurge următoarele etape:

- scoaterea pietrei sparte din spațiile adiacente traversei în zona căreia urmează a se executa substratul și eventuale ciuruirea sa;
- eliminarea substratului necorespunzător și săporea pînă la cota superioară a terasamentului;
- aplanarea feței superioare a terasamentului și executarea pantelor de scurgere;
- introducerea substratului;
- compactarea manuală a substratului. În vederea compactării pe întreaga suprafață se va face manevrarea traversei;
- introducerea patului din piatră spartă;
- burarea traversei;
- completarea cu piatră spartă și profilarea prismei căii.

Lucrările se vor executa din aproape în aproape.

De la caz la caz, funcție de cota terasamentului, când situația locală o impune, se vor prevedea sprijiniri ale pereților săpăturii, pentru a se preveni surparea lor sub circulație în timpul executării lucrărilor.

După executarea lucrărilor de introducere a substratului și bușajul căii, este necesar a se executa lucrările de aplanare și pe restul feței superioare a terasamentului. Se vor îndepărta materialele de colmatare rezultate în urma ciuruirii pietrei sparte, se va asigura continuitatea și înclinarea pantelor de scurgere a apelor.

Întreținerea substratului se face odată cu întreținerea curentă a căii. De fapt este necesar a se urmări în principal starea de conservare a sa, știut fiind că un substrat corespunzător se comportă ca stare atâta timp cât poate funcționa în condiții normale, pe când unul necorespunzător nu mai poate fi corectat sub nici-o formă, singura posibilitate de îmbunătățire a stării căii fiind schimbarea substratului.

În consecință, prin operațiunile de întreținere a substratului se va asigura planeitatea și continuitatea feței superioare a terasamentului, se vor elimina sursele de contaminare a substratului (de exemplu unele săpături ce se fac pentru repararea sau pozarea cablurilor), se va asigura integritatea părților de substrat aflate în afara bazei prismeii căii.

4.2.5.2. Sectoare experimentale în vederea testării tehnologiei studiate

Dintre sectoarele pe care autorul a aplicat tehnologia preconizată pentru introducerea substratului căii în cazul reparațiilor periodice și a întreținerii curente, se prezintă modul în care a fost realizat substratul pe linia de racord dintre stația Călărași-Sud și portul Călărași. În capătul Y al stației, autorul a condus lucrările de executare a subtraversării căii ferate cu o conductă magistrală de canalizare. Subtraversarea s-a executat sub circulație, la adăpostul unui pod provizoriu tip U 5. În acest sector linia se prezenta fără substrat, cu prisma căii și traversele înnoirite (fig. 4.9). După executarea subtraversării și compactarea umpluturii, s-a trecut la așternerea substratului.

S-a utilizat nisip mijlociu de la balastiera Doaga care înde-

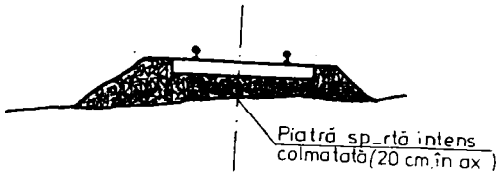


Fig. 4.9. Profil transversal prin linia Călărași Sud-port Călărași, km. 27+722 (linie fără sub-strat și înnoțită).

terea din cale a podului provizoriu, s-a lucrat pe întregul spațiu afectat de subtraversare (pe distanța a șapte traverse consecutive). S-a introdus piatra spartă și după efectuarea burajelor și ripării oăii s-a realizat profilul prezentat în figura 4.10. reluându-se circulația în condiții normale.

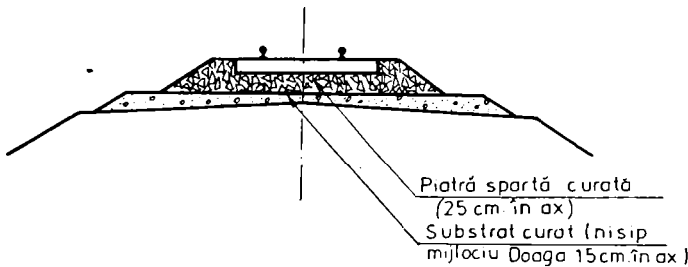


Fig. 4.10. Profil transversal prin linia Călărași Sud-port Călărași, km. 27+722 (după introducerea substratului).

4.2.5.3. Concluzii cu privire la tehnologia de executare aplicată

Pe baza studiilor și rezultatelor aplicării în practică a tehnologiei de executare a substratului în cazul reparațiilor periodice și a întreținerii oăii, se pot trage următoarele concluzii principale:

1.- în cazul acestor operațiuni se poate introduce și substratul pe zonele pe care acesta este absent sau necorespunzător;

2.- calitatea substratului obținut este mai slabă ca urmare a faptului că lucrările se execută pe tronsoane mici, de ordinul a 60...80 cm, motiv pentru care metoda este recomandată numai pentru situațiile în care starea căii nu mai permite amânarea introducerii substratului.

4.2.6. Studii cu privire la tehnologia compactării substratului căii

Deosebit de important pentru realizarea unui substrat durabil, rezistent, stabil și fiabil, este și modul în care se asigură compactarea sa. În acest sens, autorul consideră că pentru lucrările mai importante de introducere a substratului sînt necesare piste de probă pe care să se experimenteze tehnologia de compactare a substratului în vederea realizării gradului de îndesare necesar cu consumuri energetice minime.

4.2.5.1. Studii privind compactarea pămînturilor necoezive, ou referire la substrat

În vederea întocmirii unor recomandări cu privire la tehnologia de compactare specifice substratului, autorul a efectuat studii bazate pe datele furnizate de literatură și pe observații personale cu- lese ca executant al lucrărilor respective.

Comparativ cu pămînturile coezive, cele necoezive se compactează mai ușor, în sensul că realizează mai simplu gradul de îndesare cerut [92]. De asemenea, ele sînt mai puțin sensibile la variația umidității față de cea optimă de îndesare, importantă fiind granulozitatea, respectiv gradul de neuniformitate, o valoare cît mai mare a lui favorizînd o bună îndesare. Valori inferioare lui 3 sînt contraindicate.

Diagrama Proctor nu prezintă pentru pămînturile necoezive un maximum atît de ferm ca în cazul celor coezive [71]. La o granulozitate mai uniformă, nisipurile rețin mai puțină apă, fiind imposibil de atins în aceste cazuri umiditatea optimă de îndesare. De exemplu, deși la unele nisipuri monogranulare, curate, umiditatea optimă de

îndesare este de circa 10%, ele nu pot reține decât 7% apă, motiv pentru care în vederea asigurării gradului de îndesare este necesar un consum suplimentar de energie.

Pentru compactarea substratului în condiții tehnice și economice corespunzătoare, autorul ajunge la concluzia că executantul trebuie să cunoască:

- caracteristicile de compactare ale materialului din substrat;
- caracteristicile utilajelor de compactat avute la dispoziție;
- modul de deplasare al utilajului la compactare.

Caracteristicile de compactare (îndesare) ale materialului pentru substrat (nisipul mijlociu în majoritatea cazurilor și balastul de râu pentru cel de al doilea strat în cazul alcătuirii în sistem binar) se determină prin încercări de laborator. Autorul consideră că în cazul substratului valoarea minimă a indicelui de îndesare trebuie să fie 70. În ceea ce privește modul de deplasare al utilajelor în vederea realizării gradului de îndesare prescris, sînt indicate poligoane experimentale pentru determinarea numărului de treceri mai ales în cazul lucrărilor mari.

Orientativ, ținîndu-se seama de ordinea preferinței utilajelor de compactare pentru nisip și balast [175], se poate porni de la următorii parametri de compactare:

UTILAJ DE COMPACTARE	GROSIMEA STRATULUI (m)	NUMARUL DE TRECERI (n)	VITEZA DE LUCRU (km/h)	PRODUC-TIVITATEA (mc/h)
Rulouri vibratoare (5 tone)	0,5...0,6	3...4	1,5...20	350...450
Plăci vibratoare	0,7...0,8	2...3	0,4	70...80
Compactori pe pneuri	0,3...0,5	4...6	20...30	200...400
Rulouri netede (8...10 t)	0,2	5...6	15...20	12...30
Maiuri mecanice („Broască”)	0,4	2...3	0,5	30

Pentru lucrările ce se desfășoară în flux continuu, compactarea începe cu trecerea ruloului vibrator, care la prima trecere va lucra fără vibrare, efectuîndu-se precompactarea materialului [9]. Apoi se trece cu vibrare, pînă la realizarea gradului de îndesare cerut, finisarea făcîndu-se cu ruloul neted. În cazul materialelor cu umiditate mărită care permit totuși realizarea gradului de îndesare prescris, se recomandă compactorul pe pneuri pentru trecerile intermediare.

Compactarea va începe de la margine spre ax, urmele suprapunîndu-se pe 20...25 cm. Primele treceri se vor executa cu viteză redusă iar următoarele cu viteză normală.

Chiar dacă umiditatea optimă de compactare este mai puțin importantă decât în cazul pământurilor coezive, va trebui asigurată o valoare destul de apropiată de cea optimă și în orice caz nu trebuie coborât sub ea deoarece la umidități reduse apare afinarea la suprafața substratului, în special în cazul trecerilor cu rulouri vibratoare.

O parte din aceste concluzii, prezentate și de literatura de specialitate, au fost verificate și confirmate de autor cu ocazia diverselor situații în care a executat substratul pentru căi ferate sau compactarea nisipului sau balastului pentru alte scopuri, în diverse condiții de lucru (ca utilaje, ca granulozitate și ca umiditate).

4.2.6.2. Concluzii cu privire la tehnologia de compactare studiată

Documentarea, experiența și observațiile personale ale autorului referitoare la tehnologia de compactare a substratului, permit tragerea următoarelor concluzii:

1.- prin aplicarea teoriei și practicii referitoare la modul de compactare al pământurilor necoezive, este posibilă realizarea corespunzătoare a gradului de îndesare necesar pentru substrat (autorul consideră ca minimum necesar 70 pentru substrat);

2.- în vederea realizării în condiții tehnico-economice corespunzătoare a substratului, se recomandă realizarea în prealabil a unor piste de probă mai ales la lucrările mari, cheltuielile ocazionale de realizarea lor fiind compensate prin economisirea de carburanți și timp ca urmare a stabilirii unui număr de treceri optim pentru utilaje..

4.2.7. Studii cu privire la controlul executării, recepția și întreținerea substratului căii

În lipsa normelor pentru proiectarea și executarea substratului, nu există nici norme pentru controlul calității executării, recepției și întreținerii substratului. De aceea, autorul a efectuat studii în acest sens, bazându-se pe criteriile stabilite pentru proiectarea substratului, pe tehnologiile stabilite, precum și pe legislația generală referitoare la calitatea în construcții[176],

[177]. La stabilirea toleranțelor, frecvenței probelor și a altor elemente necesare atestării calității, autorul a avut în vedere normele proprii pentru lucrări de profil asemănător, ca de exemplu: terasamente feroviare, infrastructuri de drumuri, drenaje, suprastructura căii etc.

Principalele concluzii rezultate în urma acestor studii sînt:

1.- executarea substratului va începe numai după ce terasamentele și drenajele au fost executate și recepționate conform proiectului de execuție, caietului de sarcini, normelor și prescripțiilor tehnice specifice. Acest lucru se va consemna într-un proces verbal de lucrări ascunse pentru fața superioară a terasamentului, în care se vor menționa, pe tronsoane, calitatea acestuia, evidențindu-se gradul de compactare realizat, dimensiunile, înclinarea și continuitatea feței superioare a terasamentului. Un proces verbal asemănător se va întocmi și pentru substrat, în cazul substratului executat în sistem binar întocmindu-se proces verbal pentru fiecare strat. Se vor consemna dimensiunile și gradul de îndesare realizate;

2.- abaterile propuse pentru control sînt:

±0,05 m la lățimea substratului față de axul căii;

±0,5% la orizontalitatea feței superioare a substratului;

+10% și -5% la grosimea substratului.

Se propune ca gradul de îndesare să se verifice cu frecvența de una probă la 500 mc iar corelație dintre granulozitatea terasamentului și cea a substratului să se verifice la alegerea sursei de material pentru substrat și ori de cîte ori se constată vizual diferențe între granulozitatea materialului verificat inițial și cel sosit pe parcurs de la furnizor;

3.- pe lângă documentele referitoare la calitatea terasamentului și drenajelor, comisiei de recepție i se vor pune la dispoziție și cele referitoare la substrat, respectiv: procesele verbale de lucrări ascunse și rezultatele analizelor de laborator privind gradul de îndesare și granulozitățile terasamentului și substratului;

4.- în ceea ce privește întreținerea substratului, studiile efectuate de autor pe întreaga perioadă de cercetare sistematică asupra substratului, începute din anul 1973, au relevat că în cazul unui substrat corect ales și executat, întreținerea lui trebuie să conste în asigurarea integrității sale. În situația în care el este necorespunzător ales și executat, întreținerea oricît ar fi de îngrijită nu-l poate ajuta, singura măsură ce se impune fiind

înlocuirea sa cu un altul corespunzător. Rezultă deci că pentru a păstra în timp calitățile unui substrat corespunzător, se va urmări ca prin lucrările ce se execută în preajma sa (săpături, ciuruirea pietrei sparte, consolidări etc.) să nu se afecteze integritatea și funcționalitatea sa.

4.3. CONCLUZII PRIVIND PROIECTAREA SI TEHNOLOGIILE DE EXECUTARE A SUBSTRATULUI CAII

Utilizarea rezultatelor cercetărilor pe unele sectoare de cale cu defecte de substrat, analiza critică a unor tehnologii de executare a substratului și perfecționarea acestora, permit tragerea următoarelor concluzii principale:

1.- multitudinea de situații ce apar în practică la executarea substratului, impun necesitatea proiectării acestuia în vederea stabilirii corelației dintre granulozitatea terasamentului și cea a substratului, a lățimii și grosimii acestuia, condiție necesară pentru obținerea unui substrat durabil, stabil, rezistent și fiabil;

2.- pe lângă proiectarea corespunzătoare, pentru a se obține un substrat de calitate, se impune și aplicarea unor tehnologii de punere în operă adecvate pentru fiecare caz în parte;

3.- în general s-a constatat că există posibilitatea ca materialele rezultate din zăcămintele naturale sau sorturi mai puțin solicitate de la balastiere și cariere să satisfacă condițiile de granulozitate ce se impun substratului, ceea ce conduce la costuri reduse ale cheltuielilor de execuție;

4.- chiar dacă unele tehnologii asigură uneori productivitate mai redusă la execuția lucrărilor, acest lucru nu poate fi un criteriu pentru adoptarea unei tehnologii mai productive dar cu rezultate mai modeste în ceea ce privește calitatea obținută, având în vedere marile probleme de întreținere și exploatare ce le generează un substrat defect.

5. VALORIFICAREA CERCETĂRILOR, CONCLUZII FINALE, CONTRIBUTII SI PROPUNERI

5.1. ELEMENTE DE NOUȚATE REZULTATE IN URMA CERCETĂRILOR

Realizarea unor transporturi sigure, rapide și economice, constituie un deziderat al fiecărei administrații de cale ferată, cu atât mai mult cu cât calea ferată în sistemul clasic de alcătuire, bazată pe contactul direct roată-șină, va fi și în perspectivă cel mai solicitat mijloc de transport terestru. În consecință, ea va trebui să-și adapteze în permanență caracteristicile la cerințele beneficiarilor. În acest proces de perfecționare continuă, trebuie implicate toate laturile ce concurează la creșterea eficienței transporturilor feroviare, respectiv calea, materialul rulant, instalațiile feroviare precum și conducerea și organizarea activității.

În cadrul activităților de modernizare a căii, care au urmărit în principal și cu prioritate doar suprastructura acesteia (prin stabilirea unor norme științifice pentru caracteristicile pietrei sparte utilizate în prisma căii, perfecționarea traverselor din beton, introducerea șinei de tip greu, mecanizarea proceselor de întreținere a căii), autorul s-a preocupat și de aportul infrastructurii la asigurarea calității căii, adâncind cercetările referitoare la substratul căii. Studiile sistematice pe care le-a declanșat în anul 1973, i-au permis relevarea influenței pe care acest element al căii mai puțin luat în seamă o are asupra performanțelor în ansamblu ale căii. Prima etapă a cercetărilor a constat în analiza critică a defectelor de infrastructură cauzate de substrat, stabilirea și analiza în ansamblu a funcțiilor pe care le are substratul ca element al căii. Fără a avea pretenția că este descoperitorul tuturor funcțiilor ce revin substratului, autorul consideră că a realizat pentru prima dată analiza sistematică a tuturor funcțiilor substratului în ansamblul terasament-substrat-suprastructură, fapt ce i-a permis să evidențieze importanța pe care o are substratul ca element al căii și să stabilească criteriile de proiectare, execuție și întreținere.

Un prim aspect elucidat în urma cercetărilor autorului este cel referitor la apartenența clară a substratului la infrastructura căii. S-a demonstrat că în substrat au loc fenomene ce sînt proprii infra-

structurii construcțiilor, ce au mai mult legătură cu discipline ca geotehnică și fundații (circulația apei în pământuri, vibrații în pământuri, transmiterea eforturilor în pământuri etc.) decât cu structura construcției, în cazul de față suprastructura căii.

Un alt rezultat al cercetărilor autorului îl constituie schimbarea concepției asupra substratului ce se împămintenise și în țara noastră, în sensul că substratul era privit doar ca element de repartitie a eforturilor dinamice ce se transmit de la suprastructură la terasament, motiv pentru care a primit denumirea oficială de strat de repartitie. Autorul a demonstrat că de fapt aceasta este nu mai una din funcțiile pe care le îndeplinește substratul, pe această bază renunțându-se la vechea denumire de strat de repartitie, adoptându-se denumirea de substrat al căii. Primul act normativ în care apare sub această denumire este STAS 7582 "Lucrări de cale ferată. Terasamente. Prescripții de proiectare și execuție", revizuit în cursul anului 1988, cu termen de intrare în vigoare în anul 1989. Pe măsura revizuirii și a celorlalte standarde, normative și prescripții tehnice și în primul rând a STAS-ului nr. 10849-85 "Lucrări de cale ferată. Infrastructură și suprastructura căii. Terminologie", vechea denumire de strat de repartitie va fi înlocuită cu cea de substrat. Chiar dacă poate nici această denumire nu este cea mai potrivită (de exemplu se poate denumi strat de protecție), autorul consideră că prin schimbarea vechii titulaturii se elimină senzația de strictă specializare a rolului substratului.

Pornind de la funcțiile pe care le îndeplinește substratul și anume:

- element drenant al apelor pluviale;
- filtru invers între terasament și prisma căii;
- întrerupător al ascensiunii capilare a apei spre prisma căii;
- element de transmitere, uniformizare și reducere a eforturilor dinamice produse de trafic;
- amortizor al vibrațiilor produse de trafic;
- izolator termic al terasamentului,

autorul a stabilit, verificat sau corectat norme de proiectare și executare a substratului, astfel încât el să fie fiabil, rezistent, durabil și stabil de-a lungul întregii perioade de serviciu în cale.

Din acest punct de vedere se menționează:

- explicitarea pe baza studiului fenomenelor hidrodinamice ce iau naștere în cale, a procesului de înnoțire a căii (paragraful 3.1);
- evidențierea modului de producere a colmatării prismei căii

și substratului de sus în jos, cu materiale provenite prin scurgerea din trenuri, prin sfărâmițarea pietrei sparte cu rezistență redusă (paragraful 3.1);

- stabilirea caracteristicilor ce se impun substratului pentru a avea capacitatea de a drena în mod corespunzător apele ce ajung în cale și de a asigura aerisirea feței superioare a terasamentului (paragraful 3.1);

- determinarea pe baze statistice a corelației dintre granulozitatea substratului și cea a terasamentului astfel încât substratul să fie un filtru invers corespunzător între terasament și prisma căii (paragraful 3.2, relațiile 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 și 3.17);

- condițiile ce se impun substratului pentru a preveni ascensiunea capilară a apei spre prisma căii (paragraful 3.3);

- evidențierea modului în care se produce transmiterea, reducerea și uniformizarea eforturilor dinamice produse de trafic în situația în care substratul este absent precum și în prezența acestuia (paragraful 3.4);

- corecția în vederea creșterii economicității, a abacei de dimensionare a grosimii substratului căii pe baza determinărilor de teren cu penetrometrul tip ICPTT (paragraful 3.4, figura 3.26);

- modul în care se produce transmiterea și amortizarea vibrațiilor produse de trafic în substrat precum și condițiile ce se impun substratului pentru a fi insensibil la aceste vibrații (paragraful 3.5);

- verificarea în practică a metodei de dimensionare a grosimii substratului sub aspectul protecției termice a terasamentelor constituite din pământuri sensibile la îngheț (paragraful 3.6);

- stabilirea criteriilor științifice și a metodologiei pentru proiectarea judicioasă a substratului (paragraful 4.1). Pe baza lor s-au putut preciza cazurile în care pentru anumite situații nu mai este necesar substratul sau acesta are funcții reduse. De asemenea s-a putut preciza că pentru marea majoritate a terasamentelor de pe rețeaua CFR (constituite în principal din argile priforse) substratul va fi alcătuit din nisip mijlociu spre mare. În multe cazuri acest material se află în stare nativă în balastiere, nemai fiind necesară sortarea acestuia. Faptul că nu orice material este apt de a fi utilizat ca substrat pentru un terasament dat (așa cum a rezultat și din exemplele de proiectare practică din paragraful 4.1.3) denotă o dată în plus necesitatea proiectării substratului pentru fiecare caz în parte;

- perfecționarea și conceperea de procese tehnologice pentru

[punerea în operă a substratului, cu asigurarea unei înalte calități (paragraful 4.2).

Pe baza rezultatelor cercetărilor autorului, este posibilă în momentul de față stabilirea celor trei elemente ce definesc substratul, respectiv: granulozitatea, grosimea și lățimea.

De asemenea, pe baze tehnologiilor noi, propuse sau îmbunătățite, autorul consideră că este posibilă punerea în operă a unui substrat de bună calitate și ieftin.

5.2. APLICAREA ÎN PRACTICĂ A CERCETĂRILOR.

Ca urmare a faptului că autorul a început studiul substratului în mod sistematic încă din anul 1973, continuându-l și în prezent, pe măsura obținerii unor rezultate certe și utile în același timp, cu ocazia diverselor sesiuni, simpozioane și a altor manifestări cu caracter științific, ca de exemplu: sesiuni de comunicări la ICPTT București [106], IPCF București [107], schimburi de experiență ale lucrătorilor din transporturi [108] sau laboratoarelor din construcții [109], cursuri de perfecționare a diferitelor categorii de personal al CFR, stabilirea de soluții de consolidare a căii [110], [150], [151] sau de sporire a vitezelor de circulație și traficului pe diverse linii [172], [188], s-au făcut implementarea și popularizarea respectivelor rezultate, astfel că în prezent o parte din ele au intrat în practica curentă de proiectare, execuție și întreținere a substratului.

5.2.1. Introducerea rezultatelor cercetărilor în standarde, normative și instrucțiuni tehnice

Datorită bunelor rezultate obținute prin aplicarea în practică a cercetărilor autorului, în STAS 7582 "Lucrări de cale ferată. Teramente. Prescripții de proiectare și execuție", revizuit în anul 1988 cu termen de intrare în vigoare în anul 1989, s-a introdus denumirea de substrat în loc de strat de repartiție, de la această dată urmînd ca pe măsura revizuirii tuturor actelor normative în care apare substratul, să primească această denumire. De asemenea, au fost incluse și alte rezultate obținute de autor, după cum urmează:

Paragraful 2.8.2. din acest STAS cuprinde următoarele alineate:
2.8.2.c) - pentru a avea un substrat foarte bun, în grosime de

30 cm inclusiv, se vor respecta următoarele rapoarte:

$$\frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 30 \quad \text{și} \quad \frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 2$$

în care:

d_{15s} - diametrul corespunzător fracțiunii de 15% din curba granulometrică a stratului inferior al substratului;

d_{15t} - diametrul corespunzător fracțiunii de 15% din curba granulometrică a materialelor din zona feței superioare a terasamentului;

d_{85t} - idem, corespunzător fracțiunii de 85%;

2.8.2.d) - pentru grosimi de substrat mai mari de 30 cm trebuie respectate următoarele rapoarte:

$$\frac{d_{15s}}{d_{15t}} \geq 10 \quad \text{și} \quad \frac{d_{15s}}{d_{85t}} \leq 3$$

2.8.2.e) - pentru asigurarea paralelismului între curba granulometrică a stratului inferior al substratului și cea a terasamentului, se va respecta și raportul:

$$12 < \frac{d_{50s}}{d_{50t}} < 58$$

în care:

d_{50s} - diametrul corespunzător fracțiunii de 50% din curba granulometrică a stratului inferior al substratului;

d_{50t} - diametrul corespunzător fracțiunii de 50% din curba granulometrică a materialelor din zona feței superioare a terasamentului.

Tot în paragraful 2.8.2. se fac referiri și la gradul de neuniformitate al materialului din substrat, în sensul că el trebuie să fie mai mare sau cel puțin egal cu 6 pentru nisip și mai mare sau cel puțin egal cu 15 pentru pietriș.

Aceste prescripții (mai puțin cea referitoare la paralelismul curbelor granulometrice ale materialului din terasament și substrat) se regăsesc și normativul CD 125-89 "Normativ departamental privind executarea mecanizată a terasamentelor de cale ferată" [17]. În redactarea din anul 1979 a normativului se cuprinde și cea de dimensionare a grosimii substratului elaborată de ICFR, în redactarea intrată în vigoare în anul 1989 introducându-se aceea elaborată de autor.

5.2.2. Utilizarea în proiectarea, execuția și întreținerea căii a rezultatelor cercetărilor

Lipsa unor norme pentru proiectarea, execuția și întreținerea substratului, a făcut ca asupra sa să planeze suspiciuni privind capacitatea sa de a contribui la îmbunătățirea performanțelor căii și chiar asupra necesității introducerii lui ca element al căii. Odată cu creșterea ariei de introducere a substratului, ceea ce a permis ca din întâmplare pe unele zone în care acesta a fost de calitate mai bună și în primul rând a existat o bună corelație între granulozitatea sa și cea a terasamentului pe care a fost așezat, s-a ajuns la concluzia că în condițiile traficului modern este obligatorie prezența substratului în ansamblul căii. Acesta a fost de altfel principala motiv pentru care autorul s-a preocupat de acest aspect al infrastructurii căii. După ce a obținut unele rezultate utile pentru activitatea practică, s-a trecut la valorificarea acestora prin experimentarea pe scară largă și prin introducerea în practica curentă de proiectare, execuție și întreținere pe rețeaua CFR.

5.2.2.1. Soluții de îmbunătățire a căii pe unele sectoare de cale ferată ale R. C. F. Galați

Propunerile respective s-au făcut în principal în cadrul temei de cercetare denumită "Studii și cercetări pentru stabilirea grosimilor minime ale substratului căii din materiale drenante și a caracteristicilor materialelor folosite" [106]. Pe baza analizei defectelor semnalate la infrastructura căii pe raza regională, s-au propus măsuri de îmbunătățire a stării căii pe zonele pe care acest lucru a fost posibil în principal prin realizarea unui substrat corespunzător. Unde a fost cazul, s-au mai indicat și unele măsuri suplimentare, dar principala factor prin care s-a asigurat îmbunătățirea stării căii a fost substratul. Studiul respectiv a stat la baza realizării și programării lucrărilor de reparații a căii pe zonele cu probleme de stabilitate.

Principalele zone pe care s-au propus asemenea măsuri au fost:

- linia II Ploiești-Vieșani, km. 225+000 - 233+000 (zonă inundabilă, pe care pe lângă proiectarea substratului și a tehnologiei de execuție, s-a mai propus execuția unui podet pentru eliminarea stăgnării în zonă a apei și consolidarea locală a terasamentului cu

portanță deosebit de redusă, prin piloți din var);

- linia Adjud-Ciceu, km. 26+000 - 28+000 (linie inundabilă, cu foarte multe traverse noroioase - propunere de substrat și podeț la km. 27+300);

- linia București-Galați, km. 244+800 - 246+800 (traseu nou).

Pe lângă aceste sectoare unde s-a făcut o analiză foarte detaliată a cauzelor ce-au produs deranjamentele, completate cu studii de laborator a probelor prelevate din terasamentele respective și de la balastierele apropiate (aplicându-se cercetările menționate), autorul a făcut studii de fiabilitate cu propuneri de îmbunătățire a condițiilor de exploatare prin introducerea substratului pe următoarele sectoare de cale ale RCF Galați:

- linia Adjud-Ciceu, km. 24+000 - 110+000 (între stațiile Căiuț și Ghimeș);

- liniile I și II Ploiești-Vioșani, km. 59+000 - 244+000 (între stațiile Ploiești și Adjud);

- linia București-Galați, km. 71+000 - 230+000 (între stațiile Urziceni și Galați);

- linia Tecuci-Barboși, km. 240+400 - 242+300 (între stațiile Tecuci și Malul Alb);

- linia Făurei-Tecuci, km. 26+000 - 60+000 (între haltele Ghergheasa și Boțirlău).

5.2.2.2. Implementarea rezultatelor cercetărilor pe unele căi ferate din Combinatul Siderurgic Călărași

În cadrul activității desfășurate în calitate de șef al brigăzii de căi ferate din cadrul Antreprizei de Căi de Comunicații Călărași din cadrul CAGCCF București, autorul a experimentat și aplicat rezultatele cercetărilor proprii asupra substratului în următoarele direcții:

- experimentarea și perfecționarea tehnologiei de execuție a substratului căii în cazul liniilor noi (prezentată în paragraful 4.2.1.);

- experimentarea și perfecționarea tehnologiei de execuție a substratului căii în cazul dublărilor de linii (prezentată în paragraful 4.2.2.);

- stabilirea sursei de material pentru substrat. În acest sens, pe baza analizelor de laborator efectuate asupra unor probe prele-

vate din terasamente, nisip de Dunăre și balast nisipos de Doaga, s-a stabilit că cel mai indicat pentru substrat este materialul de Doaga care se încadrează în limitele prevăzute de corelația dintre granulozitatea substratului și cea a terasamentului aferentă liniilor secundare. Nisipul de Dunăre este mai puțin indicat pentru substrat deoarece prezintă un procent mare de particule fine.

5.2.2.3. Alte aplicații ale rezultatelor cercetărilor

Dintre sectoarele de cale cunoscute de autor pe care s-au aplicat concluziile cercetărilor asupra substratului se menționează:

- utilizarea deșeurilor de carieră la execuția unor oăi ferate din portul Constanța (prezentată în paragraful 4.1.3 și [109], [110]);
- studii cu privire la prevenirea apariției și înlăturarea porțiunilor de osle cu joante și traverse noroioase [150];
- studiul realizării unei șape hidroizolante în zona platformei oăii la km. 265+000 - 266+000, linia Predeal-Teiuș [151];

Prima temă a fost realizată în mod individual de autor, la celelalte două făcând parte din colectivul de cercetare.

- stabilirea soluțiilor necesare sporirii portanței oăii pe linia Ciceu-Deda aplicabile cu ocazia lucrărilor de refacție [152];
- verificarea calității terasamentelor la rampele de acces ale podurilor peste canalul Poarta Albă-Midia [153];
- stabilirea grosimii minime a substratului oăii pe platforma stației Rădulești de pe linia Videle-Giurgiu;
- stabilirea grosimii minime a substratului oăii pe sectorul de osle dintre stațiile Caransebeș-Lugoș.

5.2.2.4. Aspecte economice datorate utilizării în proiectarea, execuția și întreținerea oăii a rezultatelor cercetărilor

Prin introducerea rezultatelor cercetărilor autorului în practica curentă a activităților ce privesc proiectarea, execuția și întreținerea substratului, se realizează în primul rând un substrat de calitate, ceea ce conferă acestuia durabilitate, rezistență, stabilitate și fiabilitate pe întreaga perioadă de serviciu.

Cercetările efectuate au demonstrat că principala defecțiune a

infrastructurii cauzată de lipsa sau calitatea necorespunzătoare a substratului o constituie pungile de balast ce apar la terasamente. Pentru a se evidenția rezultatele economice ale aplicării în practică a celor prezentate în paragrafele 5.2.2.1, 5.2.2.2 și 5.2.2.3, se prezintă costurile presupuse de lucrările necesare eliminării pungilor de balast în cazul unui rambleu de înălțime medie, respectiv 3 m. Se menționează faptul că în ocolule nu sînt cuprinse cheltuielile suplimentare produse de lucrările de întreținere și exploatare cauzate de pungile de balast (se vor prezenta în paragraful 5.3), ci numai cele ocazionale de eliminarea pungilor de balast și aducerea infrastructurii în condiții normale de exploatare. Se au în vedere cele două situații în care este posibilă eliminarea definitivă a pungilor de balast și anume:

- prin realizarea de variantă provizorie a traseului;
- prin lucrări sub circulație executate la adăpostul podurilor provizorii.

variantele provizorii reprezintă soluția mai ieftină și comodă, asigurînd și o bună calitate a lucrărilor (se aplică tehnologia de execuție aferentă dublărilor de linii), dar nu sînt posibile în toate cazurile. După executarea variantei provizorii, circulația se dirijează pe aceasta pînă la eliminarea pungilor de pe traseul de bază și realizarea corespunzătoare a infrastructurii. Cînd acest procedeu nu este posibil, se lucrează sub circulație, prin introducerea podurilor provizorii din grinzi metalice. Circulația se desfășoară cu restricție de viteză iar sub podurile provizorii se elimină porțiunile de terasament ou pungi de balast și se construiește noul terasament. În închidere de circulație se scoate apoi podul provizoriu, se introduce substratul și suprastructura căii. Tehnologia aceasta este mai scumpă iar calitatea obținută este mai slabă, cauzată în principal de slaba compactare ce se realizează în spațiile înguste de sub podul provizoriu.

Valoarea pe ml în cazul variantei provizorii este:

- pentru varianta propriu-zisă:

suprastructură		3 000 lei
terasament	$25 \text{ m}^3 \times 150 \text{ lei/m}^3$	3 750 lei
substrat	$1,3 \text{ m}^3 \times 250 \text{ lei/m}^3$	325 lei

Total = 7 075 lei

- pentru refacerea liniei definitive:

suprastructură		3 000 lei
eliminarea pungi și refacere		

terasament	25 m ³ x 200 lei/m ³	5.000 lei
substrat	1,3 m ³ x 250 lei/m ³	325 lei

Total = 5.325 lei

Costul total pe ml pentru varianta provizorie și refacerea traseului inițial este: 7.075 + 5.325 = 12.400 lei

Costul pe ml al lucrărilor de eliminare a pungilor de balast cu poduri provizorii de tip G 18 s-a calculat pe baza proiectului nr. 88-728 elaborat în anul 1988 de Institutul de Proiectări Căi Ferate București. El se referă la eliminarea pungilor de balast între km. 3+700 - 3+900 de pe linia Bacău-Bioaz. Adâncimea acestor punși este de 3 m. Costul total al lucrărilor este de 7.108.000 lei, valoarea pe ml rezultând: 7.108.000 : 200 = 35.540 lei

Se observă că prețul lucrărilor realizate prin acest procedeu este aproximativ triplul celui realizat cu variante provizorii de circulație.

Prin realizarea unui substrat corespunzător, conform criteriilor și tehnologiilor stabilite de autor, toate aceste costuri, plus cele ce apar pînă la eliminarea pungilor (cauzate de restricțiile de circulație și intensificarea întreținerii căii, de reducerea capacității de transport pe sectorul respectiv și dirijarea transporturilor ce nu mai pot fi preluate pe alte rute mai lungi) sînt eliminate în întregime.

5.3. CU PRIVIRE LA EFICIENȚA ECONOMICĂ A CERCETĂRIILOR

Prin aplicarea în practica proiectării, execuției și întreținerii substratului a rezultatelor cercetărilor autorului, se consideră că sînt realizate condițiile pentru obținerea unui substrat stabil, rezistent, durabil, fiabil și economic. Principalele avantaje economice ce decurg ca urmare a faptului că substratul este de calitate superioară celui realizat în absența normelor stabilite de autor, rezultă din:

- economii de manoperă la lucrările de întreținere a căii pe liniile cu substrat corespunzător comparativ cu sectoarele cu substrat necorespunzător;

- reducerea numărului de ciuriri ale prismeii căii ca urmare a eliminării colmatării ei de jos în sus prin dispariția fenomenului de migrare a particulelor fine din terasament în piatra spartă;

- economii de materiale pentru întreținerea căii;

- asigurarea fluentei circulației prin eliminarea restricțiilor pe zonele cu defecte de substrat, ce se traduce prin creșterea capacității de transport pe sectoarele respective și prin importante economii de energie electrică și motorină.

Exprimate în cifre, aceste avantaje economice se estimează:

1.- considerând sporul de manoperă la întreținere pe liniile cu substrat necorespunzător de 100 om-zi/an și km (în realitate s-au întâlnit și situații cu consumuri lunare de 150 și chiar peste 200 om-zi pe km) pentru menținerea în toleranțe a căii, la o retribuție medie de 90 lei/zi, rezultă un spor la manopera de întreținere de: $100 \text{ om-zi/km} \times 90 \text{ lei/om-zi} = 9.000 \text{ lei/km - anual}$

La data analizei critice a sectoarelor cu probleme de întreținere având drept cauză substratul necorespunzător, numai pe raza RCF Galați existau circa 70 km, deci anual sporul de manoperă pe raza acestei regionale având cauză substratul necorespunzător, este:

$$9.000 \text{ lei/km-an} \times 70 \text{ km} = 630.000 \text{ lei/an}$$

2.- în situația în care substratul este corespunzător, se elimină colmatarea de jos în sus a prismei căii, având loc doar pe unele sectoare cu trafic deosebit (agregate minerale, cărbuni, mine-reu) colmatarea de sus în jos. În acest caz este posibilă reducerea numărului de ciuriri a prismei căii cu mașina de ciurit, măriră intervalul dintre două ciuriri consecutive de la 5 la 7,5 ani, în cazul liniilor cu sarcini grele de trafic. Având în vedere că prețul ciuririi unui m^3 de piatră spartă este de 0,16 lei manopera și 16,60 lei utilajul, considerând că se ciuruie în medie 1.250 m^3 de piatră spartă pe km, valoarea economiilor obținute pe raza RCF Galați (circa 10 km/an) este:

$$10 \text{ km/an} \times 1.250 \text{ m}^3/\text{km} \times (0,16 + 16,60) \text{ lei/m}^3 = 210.375 \text{ lei/an}$$

3.- pe liniile cu probleme de substrat, pe lângă consumul de manoperă, crește și consumul de materiale pentru întreținerea suprastructurii ca urmare a uzurii cauzate de accentuarea instabilității căii. Creșteri mari se înregistrează la materialul mărunț, traverse și piatră spartă. În situația în care substratul este corespunzător, nu se mai înregistrează costuri suplimentare la materialele de întreținere cauzate de substratul necorespunzător, anual prezumându-se economisirea pe fiecare kilometru a următoarelor:

- 100 m^3 piatră spartă;

- 2.500 lei pentru materialul mărunț și traverse,

care valoric reprezintă:

$$100 \text{ m}^3/172 \text{ lei/m}^3 + 2.500 \text{ lei} = 19.700 \text{ lei}$$

Prin proiectarea corespunzătoare a substratului rezultă

menea economii de material de balastieră. Considerînd că prin proiectarea optimă rezultă o economie de $0,25 \text{ m}^3$ nisip/m, valoarea economiilor pe km este: $0,25 \text{ m}^3/\text{m} \times 1.000 \text{ m} \times 45 \text{ lei}/\text{m}^3 = 11.250 \text{ lei}$

4.- pe lângă reducerea capacității de circulație și fluentei traficului, restricțiile de circulație produc și irosirea de importante resurse energetice. Astfel, fiecare restricție de viteză înseamnă pentru un tren de călători un consum suplimentar de 70 kWh iar pentru un tren de marfă 67 kWh. Avînd în vedere că pentru producerea unui kWh se consumă 0,1228652 kg combustibil convențional, într-un an, pentru o singură restricție de viteză cu care circulă, un tren de călători consumă în mod inutil:

$$70 \text{ kWh} \times 0,1228652 \text{ kg/kWh} \times 365 \text{ zile} = 3.139 \text{ kg cc}$$

Calcululele prezentate relevă că prin realizarea unui substrat corespunzător, se pot obține importante economii bănești, de forță de muncă, energie și materiale care se dirijează spre alte scopuri mai utile.

5.4. CERCETARI CE SE IMPUN A MAI FI EFECTUATE

În ceea ce privește substratul, autorul consideră că au fost rezolvate cele mai importante aspecte privind rolul pe care îl îndeplinește acesta în ansamblul căii și aferent fiecărei funcții în parte, condițiile ce se impun substratului, astfel încît el să fie stabil, durabil, rezistent, fiabil și economic de-a lungul întregii perioade de serviciu. Desigur, pe măsura perfecționării în ansamblu a căii, a creșterii sarcinilor de trafic, va fi necesar ca și substratul să țină pasul cu aceste modernizări, dar se consideră că normele stabilite de autor vor rămîne și în continuare valabile o perioadă îndelungată de timp. Este probabil că vor trebui adîncite cercetările pentru sarcinile de perspectivă mai ales în ceea ce privește noi procedee de calcul și măsurători de eforturi și vibrații în substrat și terasament.

Studiul teoretic și experimental al ansamblului traversă-prisma căii-substrat-terasament va fi în măsură să elucideze toate aspectele legate de comportamentul dinamic al suprastructurii și infrastructurii sub influența solicitărilor dinamice produse de traficul feroviar, modelul respectiv simulînd perfect toate procesele dinamice și hidrodinamice ce au loc în cale. Autorul consideră că cercetările privind acest ansamblu vor fi în măsură să permită di-

mensionarea terasamentelor feroviare în deplină cunoștință a fenomenelor reale ce au loc în cale în timpul circulației materialului rulant. Pe baza lor va fi posibilă proiectarea optimă a terasamentelor ținându-se cont de acțiunile dinamice și hidrodinamice ce iau naștere în cale, precum și de comportamentul dinamic al pământurilor.

Aceste cercetări, împreună cu cele prezentate de autor în teză, vor constitui fundamentul științific pentru proiectarea judicioasă a infrastructurilor de cale ferată, premiză a realizării acestora în condiții tehnico-economice și de calitate superioare, conferindu-le rezistență, stabilitate, durabilitate și fiabilitate de-a lungul întregii perioade de serviciu.

B I B L I O G R A F I E

1. Andreev, G. E., Kak umensiti bokovfiesilf v puti, Puti i putevoe hoziasstvo nr. 6/1973
2. Andrei, S., Apa în pământurile nesaturate, Editura Tehnică, București, 1967
3. Andrei, S., Luca, E., Considerații privind dimensionarea și experimentarea filtrelor inverse de protecție a nucleelor de argilă la baraje, Simpozionul "Calitate și eficiență în hidrotehnică", Institutul de Construcții București, nov. 1983
4. Anton, C., Căi ferate, Institutul Politehnic "Gheorghe Asachi" Iași, 1984
5. Anton, C., Considerații privind determinarea caracteristicilor de deformabilitate ale pământurilor folosite în infrastructura oăii ferate, Revista căilor ferate nr. 11/1970
6. Anton, C., Influența diametrului plăcii asupra acumulării deformațiilor în cazul încărcărilor repetate aplicate pe pământuri coezive, Transporturi auto, navale și aeriene nr. 9/1971
7. Anton, C., Sfirlos, D., Diaconu, M., Determinarea coeficientului de pat al sistemelor stratificate folosite în structura oăii ferate, Lucrările celei de a VI-a Conferințe Naționale de Geotehnică și Fundații, Galați, sept. 1987
8. Ardelea, I., Controlul statistic prin măsurare, Academia de Științe Sociale și Politice "Stefan Gheorghiu" București, 1978
9. Arque, G., Le compactage routes et pistes, Editure Dunod, Paris, 1970
10. Bapizghin, E. S., Novie Gosti na ballastnie materialy, Puti i putevoe hoziasstvo nr. 11/1970
11. Barkan, D. D., Vibrometod v stroitelstve, Gosstroizdat, Moskva, 1959
12. Benchea, N., Silion, T., Buhman, J., Guragata, C., Concluzii asupra comportării sectoarelor experimentale cu piloți scurți drenanți la acțiunea înghețului pe linia ferată Dărmănești-Vatra Dornei, Lucrările sesiunii științifice I.C.P.T.T. București, oct. 1969
13. Benchea, N., Condiții de aplicare a metodei de consolidare a platformei terasamentelor de cale ferată cu piloți scurți drenanți, Lucrările sesiunii științifice I.C.P.T.T. București, aprilie 1971
14. Birmann, F., Die Gleisunterhaltung schnellstbefahrener Bahnen, Eisenbahntechnische Rundschau nr. 1, 2/1971

15. Björk, J., Dynamic loading at rail joints-effect of resilient wheels, Railway Gazette nr. 11/1970
16. Blind, W., Der Schotteroberbau auf Japans Schnellstrecken, Eisenbahntechnische Rundschau nr. 12/1970
17. Bliumovici, S. A., Drenajii v mesta osusitelnih prorezei, Puti i putevoe hoziastvo nr. 8/1970
18. Boicu, M., Dorobanța, S., Nicomă, L., Zarojanu, H., Autostrăzi, Editura Tehnică, București, 1981
19. Botea, E., Geotehnică și fundații, Institutul de Căi Ferate, București, 1959
20. Bratosin, D., Vasile, I., Bălan, P., Rezistența dinamică a loessului, Lucrările celei de a VI-a Conferințe Naționale de Geotehnică și Fundații, Galați, sept. 1987
21. Buzdugan, Gh., Dinamica fundațiilor de mașini, Editura Academiei RSR, București, 1969
22. Buzdugan, Gh., Izolarea antivibratorie a mașinilor, Editura Academiei RSR, București, 1980
23. Castagnata, V., Zocca, A., Conti, P., Impiego dei materiali bituminosi nella sovrastuttura delle linee ferroviarie, Ingegneria Ferroviaria nr. 12/1975
24. Călugăru, D., Ionescu, C., Moraru, V., Solicitarea căii la circulația cu viteze mari, I.C.P.T.T. București, 1969
25. Celard, B., Conti, P., Pisani, M., Zocca, A., Il conglomerato bituminoso come nuova soluzione per lo strato di sottoballast nelle linee ferroviarie. Dimensionamento con metodo dinamico, Ingegneria Ferroviaria nr. 4/1976
26. Ciocîrdel, R., Hidrogeologie, Editura Tehnică, București, 1957
27. Cosneanu, D., Cercetări privind comportarea la vibrații a construcțiilor subterane de tip galerie sau stație de metrou, I.C.P.T.T. București, 1977
28. Darr, E., Nicolaus, S., Zur Sanierung des Unterbaus an bestehenden Eisenbahnstrecken, Signal und Schiene nr. 1, 4/1972
29. David, E., Moraru, V., Soluții constructive noi la suprastructura căii, Lucrările celei de a VI-a conferințe pe țară a lucrătorilor de drumuri, poduri și căi ferate, Tușnad, dec. 1982
30. Davidovici, A., Călugăru, D., Roșianu, V., Ionescu, C., Cercetări și experimentări pentru sporirea vitezei de circulație pe linia București-Cîmpina, I.C.P.T.T. București, 1968
31. Dearden, J., Les ovarien de ralle aux British Railways. Analyse, analyse et présentation, Bulletin des Chemin de fer nr. 10/1

32. Delvendahl, H., Die Deutsche Bundesbahn auf dem Weg zu einer modernen Infrastruktur, Der Eisenbahningenieur nr. 1/1972
33. Diettrich, W., Massnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrunds im Eisenbahnbau, Signal und Schiene nr. 7/1966
34. Dima, Gh., Studii asupra modificării caracteristicilor fizico-mecanice ale maselor de pământ supuse acțiunii vibrațiilor, teză de doctorat
35. Dobroselski, K. M., Himiceskie metody ukreplenia zemliano-go polotna, Jelesnodorojnii transport nr. 6/1972
36. Dumitrache, Gh., Utilaje de cale pentru scoaterea pungilor de balast de sub linia ferată în exploatare, Consfătuirea M.T.To. "Introducerea progresului tehnic în transporturile feroviare", București, feb. 1983
37. Eisenmann, J., Einfluss der Schwellengrösse, Schwellenteilung und Schotterbettstärke auf Untergrundbeanspruchung, Eisenbahntechnische Rundschau nr. 6/1970
38. Eisenmann, J., Eisenbahnoberbau für hohe Geschwindigkeiten, Eisenbahntechnische Rundschau nr. 6/1972
39. Eisenmann, J., Bedeutung der Oberbauforschung für die Praxis Der Eisenbahningenieur nr. 12/1986
40. Gheorghe, I., Consolidarea și hidroizolarea rambleului de cale ferată dublă între stațiile Domnești-Grădinari pe linia București-Roșiori-Craiova, Sesiunea de comunicare "Noutăți în tehnica feroviară românească" I.P.C.F. București, nov. 1982
41. Ghețu, I., Stabilirea calităților fizico-mecanice și a limitelor granulometrice optime ale pietrei sparte care alătuiește prisma oăii, Lucrările sesiunii științifice I.C.P.T.T. București, aprilie 1971
42. Ghiță, V., Contribuția I.P.C.F. la realizarea mașinilor și utilajelor pentru mecanizarea construcției și întreținerii oăii, Sesiunea de comunicare "Noutăți în tehnica feroviară românească, I.P.C.F. București, nov. 1982
43. Ghiță, A., Determinarea eforturilor unitare și a vibrațiilor care se produc în terasamentele de cale ferată la circulația cu viteze mari, Lucrările sesiunii științifice I.C.P.T.T. București oct. 1969
44. Ghiță, A., Determinarea solicitărilor care se produc în terasamente la circulația cu viteze mari și stabilirea condițiilor pe care trebuie să le îndeplinească platforma și terasamentele, I.C.P.T.T. București 1970

45. Gligor, T., Stabilirea ecuațiilor diferențiale ale vibrațiilor laterale la locomotiva diesel-electrică O60 DA de 2100 CP, Revista căilor ferate nr. 8/1971
46. Gligor, T., Influența conicității bandajului și a forțelor de pseudoalunecare asupra vibrațiilor laterale ale locomotivei diesel electrice O60 DA de 2100 CP, Revista căilor ferate nr. 1/1972
47. Gössel, N., Einflüsse der elastischen Eigenschaften der Berührungstelle zwischen Rad und Schiene und des Radsatzes auf das Schlingern der Fahrzeuge, Eisenbahntechnische Rundschau nr. 6/1956
48. Green, P. A., Ferguson, P. A. S., On liquefaction phenomena, by Professor A. Casagrande: Report of lecture, Géotechnique nr. 3/1971.
49. Gube, P., Zur Sanierung des Unterbaus am besten henden Eisenbahnstrecken, Signal und Schiene nr. 4/1972
50. Haret, R., Influența vibrațiilor asupra transformărilor sol-gel la argile tixotropice, teză de doctorat
51. Harris, C. M., Crede, C. E., Socuri și vibrații, Editura Tehnică, București, 1969
52. Hila, V., Radu, C., Ungureanu, C., Stoicescu, G., Căi ferate, Institutul de Construcții București, 1975
53. Hila, V., Radu, C., Stoicescu, G., Poștoacă, S., Neer, N., Dăscălescu, R., Mic, A., Mihai, A., Verificarea rosturilor de dilatație, Lucrările celei de a VI-a consfătuiri pe țară a lucrătorilor de drumuri, poduri și căi ferate, Tușnad, dec. 1982
54. Hlasny, R., Určit nejvyšší mez využitelnosti želeničnicko svršku soustavy, Ta a Zavěšená VUD, Praha, 1958
55. Höhn, L., Helbig, G., Scholz, R., Die Schutzschicht im Eisenbahnunterbau mit Polyäthylenfolien, Signal und Schiene nr. 8/1969
56. Höhn, L., Die Festlegung von Kiesschutzschichten im Eisenbahnunterbau nach Gefährdungsklassen, Signal und Schiene nr. 11/1969
57. Höhn, L., Helbig, G., Scholz, R., Bituminöse Schutzschicht als Planumsversiegelung im Eisenbahnunterbau, Signal und Schiene nr. 4/1970
58. Hughes, L. M. O., Withers, N. J., Greenwood, D., A field trial of the reinforcing effect of a stone column in soil, Géotechnique nr. 1/1976
59. Hyde, A. F. L., Brown, S. F., The plastic deformation of a silty clay under creep and repeated loading, Géotechnique nr. 1/1976
60. Ianou, M., Măsurători privind deformația verticală a căii în timp, în funcție de tipul de prindere, I.C.P.T.T. București, 1976
61. Izdrăilk. V., Berberich, W., Ionescu, C., Considerații pri-

vind corelarea între elementele geometrice ale căii cu vehiculele în cazul sustentăției magnetice, *Lucrările celei de a IV-a Conferințe Naționale de Geotehnică și Fundații, Iași, sept. 1979*

62. Izdrăilă, V., *Căi ferate, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1979*

63. Kellner, L., Matei, S., *Cercetări asupra filtrelor aplicate pe pământuri coezive, Lucrările celei de a VI-a Conferințe Naționale de Geotehnică și Fundații, Galați, sept. 1987*

64. Kobayashi, Y., *Mechanism of earthquake damage to embankment and slopes, Quarterly Reports nr. 3/1968*

65. Kobayashi, Y., Ubukata, T., Kumagai, K., *Ground vibration due to running trains on an elevated railroad bridge, Quarterly Reports nr. 4/1971*

66. Kobayashi, Y., *Porewater pressure in soils induced by earthquake ground motions, Quarterly Reports nr. 4/1971*

67. Lashine, A. K., Brown, S. F., Hyde, A. F. L., *Repeated load triaxial testing of a silty clay, Géotechnique nr. 1/1975*

68. Leflaive, E., Puig, J., *Emploi des textiles dans les travaux de terasament et de drainage, Revue Générale des Routes et des Aéro-dromes nr. 12/1973*

69. Liteanu, E., *Hidrogeologie aplicată, Editura Tehnică, București, 1953*

70. Luca, E., Mihăilescu, V., *Filtre inverse pentru protecția pământurilor coezive, Lucrările celei de a VI-a Conferințe Naționale de Geotehnică și Fundații, Galați, sept. 1987*

71. Maior, N., Păunescu, M., *Geotehnică și fundații, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1973*

72. Makowski, G., *Analyse du modèle mathématique de la plateforme de la voie ferrée, Rail International nr. 6/1978*

73. Makowski, G., *Mechanizacja robot odwadniania i wzmocnienia torowiska kolejowego, Przegląd Kolejowy Drogowy nr. 3, 4 /1971*

74. Manoliu, I., *Fundații și procedee de fundare, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983*

75. Manta, A., *Compactarea terasamentelor în construcțiile hidrotehnice, Editura Tehnică, București, 1968*

76. Margotiev, A. N., *Otenka procinosti osnolnoi ploșoiadki zemlianovo polotna, O.S.J.D. Biuleteni, Warszawa, nr. 5/1970*

77. Margotiev, A. N., *O stabilizații zemlianovo polotna pri postroike vtorovo puti, Transportnoe stroitelstvo nr. 7/1970*

78. Merianu, V., Ciocilteu, S., *Influența dinamică a vehicule-*

lor asupra căii, I.C.P.T.T. București, 1974

79. Matsui, N., Arai, S., Vertical forced vibration of vehicle body and vertical wheel load diminuation due to track irregularity, Quarterly Reports nr. 3/1968

80. Matsubara, K., Recherche sur le nouveau ligne Tokaydo, Bulletin mensuel de l'Association Internationale du Congres des Chemins de fer nr. 7/1962

81. Matsuura, A., Vertical vibration of beam and effect under the passage of bogie car, Quarterly Reports nr. 2/1968

82. Mănescu, G., Olănescu, C., Vlad, L., Mecanismul de formare a pungilor de balast și tehnologii de remediere, Lucrările celei de a VI-a consfătuiri pe țară a lucrătorilor de drumuri, poduri și căi ferate, Tușnad, dec. 1982

83. Mănuilă, A., Surugiu, M., Pârvulescu, T., Humeniuc, D., Iliescu, I., Studii și cercetări privind stabilirea periodicității optime a lucrărilor de întreținerea căii și a unor noi procese tehnologice, I.C.P.T.T. București, 1971

84. Miladinov, D. V., Dynamic properties of cohesive soils, Proceedings of the third European Symposium on Earthquake Engineering, Sofia, sept. 1970

85. Mitschke, M., Helms, H., Schwingungen von Schienen und Straßenfahrzeugen, Eisenbahntechnische Rundschau nr. 10/1975

86. Miyako, J., Watanabe, S., Iwasaki, T., Stabilisation of soft subsoile. Variation of a vibration characteristics of a low embankment due to subsoil stabilisation, Quarterly Reports nr. 1/1970

87. Moraru, V., Stoenescu, D., David, E., Determinarea solicitărilor elementelor căii în funcție de viteză, I.C.P.T.T. București, 1976

88. Moraru, V., Mănuilă, A., Stoenescu, D., Rulianu, C., Sebeșan, S., Influența abaterilor de la geometria căii asupra circulației materialului rulant, Lucrările celei de a VI-a consfătuiri pe țară a lucrătorilor de drumuri, poduri și căi ferate, Tușnad, dec. 1982

89. Nasu, A., Sosaki, O., Measurement of dynamic earth pressure acting on model wells in weak ground, Quarterly Reports nr. 1/1972

90. Nicoară, L., Construcția drumurilor, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1973

91. Nicolașus, D. S., Zur Sanierung des Unterbaus bei bestehenden Eisenbahnstrecken, Signal und Schiene nr. 1, 4/1972

92. Nicolăescu, L., Unele considerațiuni cu privire la compactarea

terasamentelor, Revista oăilor ferate nr. 1/1972

93. Oczykowski, A., Sancewicz, S., Wzmacnianie podtorza przez wbudowanie warstwy filtracyjnej, Przegląd Kolejowy Drogowy nr. 10/1969

94. Oczykowski, A., Towpik, K., Stabilizacja gruntów górnej warstwy podtorza na kolejach o austriackich, Przegląd Kolejowy Drogowy nr. 12/1969

95. Oczykowski, A., Wymiarowanie podłoża podkładów, Przegląd Kolejowy Drogowy nr. 1/1970

96. Olson, R. R., Kane, H., Dynamic shearing properties of compact clay at high pressure, Proceeding of the-sixth International Conference on soil mechanics and foundation engineering, Montreal, 1963

97. Orlandi, D., La stabilizzazione della piattaforma stradale, esigenza di una ferrovia moderna, Ingegneria Ferroviaria nr. 12/1970

98. Ormai, G., Alépitményi koroná méreterezéséaz, V.T.K.I. Budapest, 1972

99. Ormai, G., Az alépitménykorona alkalmassá tétéle nagyobb sebességre és tengelynyomásra. Az alépitménykorona teherbírásának növelése korszeru talajstabilizációval, V.T.K.I. Budapest, 1976

100. O'Rourke, M., Trebovania k puti na gruzonapriajennih liniah, Jeleznie doroghi mira nr. 10/1988

101. Peterson, A., Notching the track to the load, Railway Gazette nr. 2/1972

102. Păunescu, M., Pop, V., Silion, T., Geotehnică și fundații, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982

103. Păunescu, M., Haida, V., Butuman, V., Cercetări asupra rezistenței la forfecare a nisipurilor supuse vibrației, Buletinul științific și tehnic al Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, fasc. 1, ian-iul. 1967

104. Păunescu, M., Butuman, V., Haida, V., Vasiloni, N., Keller, E., Nedelcu, M., Studiu privind comportarea materialelor din corpul barajului Siriu-Buzău sub efectul acțiunilor dinamice, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1975

105. Păunescu, M., Butuman, V., Studiu privind comportarea pământurilor din terenul de fundare și din corpul barajului Ighiș, Mădiaș sub efectul vibrațiilor, Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1975

106. Pârvulescu, T., Studii și cercetări pentru stabilirea grosimilor minime ale substratului din materiale drenante la oale și a

caracteristicilor materialelor folosite, I.C.P.T.T. București, 1973

107. Pârvulescu, T., Cercetări privind stabilirea caracteristicilor optime ale substratului oăii ferate, Sesiunea de comunicări "Noutăți în tehnica feroviară românească", I.P.C.F. București, nov. 1982

108. Pârvulescu, T., Aspecte privind proiectarea și executarea substratului oăii ferate, Lucrările celei de a VI-a consfătuiri pe țară a lucrătorilor de drumuri, poduri și oăii ferate, Tușnad, dec. 1982

109. Pârvulescu, T., Utilizarea economică a produselor de balastieră și carieră la executarea substratului oăii ferate, Ediția a IV-a a schimbului de experiență a laboratoarelor din construcții, Baia Mare, oct. 1985

110. Pârvulescu, T., Studiul utilizării deșeurilor de la cariera Movila Goaleă la construcția căilor ferate industriale, I.C.P.T.T. București, 1976

111. Pârvulescu, T., Studii și cercetări privind modul constructiv și locul de amplasare unitară a cablurilor CFR în cadrul profilului transversal al oăii ferate, I.C.P.T.T. București, 1973

112. Pârvulescu, T., Despre factorii de natură dinamică la care sînt supuse terasamentele de oale ferată la viteze mari de circulație, Referat documentar, Institutul Politehnic "Traian Vîșu" Timișoara, 1977

113. Pârvulescu, T., Influența vibrațiilor asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale terenului (îndeosebi cu referire la terasamentele feroviare), Referat documentar, Institutul Politehnic "Traian Vîșu" Timișoara, 1977

114. Perles, M., Fenomenul de lichefiere a nisipurilor, Referat documentar, I.C.H. București, 1970

115. Popescu, N., Jocul dintre șina de rulare și buza bandajului rôtii în cazul oăii în aliniament, Revista căilor ferate nr. 1/1972

116. Popov, S. N., Ballastnîi sloi jeleznodorojnovo puti, Gosstroizdat, Moskva, 1965

117. Popov, S. N., Perspektivnîi tip verhnego stroenia puti dlia osobo grusonapriajennîh linii, Jeleznodorojnîi transport nr. 7/1972

118. Pyzel, D., Skrzynski, E., Wplyw zmiennych obciażeń statycznych na podłoże uzmocnione różnymi metodami, Przegląd Kolejowy Drogowy nr. 6/1971

119. Pyzel, D., Skrzynski, E., Zależność drgań niskich nasypów od metody wzmocnienia podłoża, Przegląd Kolejowy Drogowy nr. 7/1971

120. Radu, C., Determinarea rigidității reazemelor situate sub talpa șinei la calea realizată cu traverse de beton precomprimat, Lucrările sesiunii științifice I.C.P.T.T. București, aprilie 1971
121. Radu, C., Unele aspecte privind stabilitatea căii fără joante, Lucrările celei de a VI-a consfătuiri pe țară a lucrătorilor de drumuri, poduri și căi ferate, Tușnad, dec. 1982
122. Rahn, H., Fritz, A., Kalkstabilisierung zur Planumssanierung bei der Zentralen Oberbauerneuerung, Signal und Schiene nr. 9/1966
123. Richter, F., Polyäthylenfolien zum schutz des Eisenbahnunterbaus vor Oberflächenwasser, Signal und Schiene nr. 1/1969
124. Richter, F., Gedanken zur Dimensionierung von Tragschichten im Eisenbahnbau, Signal und Schiene nr. 2/1970
125. Riebold, K., Das Gleisumbauverfahren Karlsruhe, Der Eisenbahningénieur nr. 3, 4/1972
126. Robert, G., Design standards for Europe's first 250 km/h railway, Railway Gazette International nr. 7/1971
127. Roșianu, V., Surugiu, M., Studii și cercetări privind unele caracteristici geotehnice ale pământurilor din terasamentele liniilor magistrale de cale ferată, I.C.P.T.T. București, 1973
128. Roșianu, V., Ghiță, A., Determinarea eforturilor unitare și a vibrațiilor ce se produc în terasamentele de cale ferată la circulația cu viteze mari, I.C.P.T.T. București, 1969
129. Saito, M., Research on reasonable embankment construction, Quarterly Reports nr. 3/1969
130. Sapoșnikov, M. A., Vertikalnoe drenirovanie pri lecenii zemliano-položna na torfianom osnovanii, Transportnoe stroitel'stvo nr. 7/1970
131. Sári, G., Az alépitmény-korona teherbírásnak novelése, illetve meghibásodott alépitmények javítása, V.T.K.I. Budapest, 1976
132. Sarma, S. K., Seismic stability of earth dams and embankment, Géotechnique nr. 4/1975
133. Satoh, Y., Incidente dynamique d'un méplat sur la deformation de la voie, Bulletin du chemin de fer nr. 10/1965
134. Satoh, Y., Lateral ballast resistance and stability of track in earthquake, Quarterly Reports nr. 1/1970
135. Savcenko, I. A., Vlianie vibrații na vnutrennee trenie v peskah, Dinamice gruntov nr. 2/1958
136. Schramm, G., Suprastructura căii, Editura Ministerului

Căilor Ferate, București, 1965

137. Schmid, W. E., Kitogo, S., Shear strength of clay and safety factor as a function of times, Proceedings of the sixth International Conference on soil mechanics and foundation engineering, Montreal, 1963

138. Schneider, W., Feste Fahrbahn für die Eisenbahn statt schwimmenden Gleisrostes: Betonplattenoberbau mit wärmedämmender Styropor-Betonpragschicht statt Querschwelleneberbau mit Schotterbett, Eisenbahningenieur nr. 6/1971

139. Seed, H. B., Chan, C. K., Clay strength under earthquake loading conditions, Journal of the soil mechanics and foundations division, march 1966

140. She' al, B., Some properties of sand under repetitive loading, Proceedings of the third European Symposium on Earthquake Engineering, Sofia, sept. 1970

141. Soare, S., Procese hidrodinamice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979

142. Spang, J., Verformungen des Untergrundes von Eisenbahngleisen und seine Stabilisierung, Eisenbahntechnische Rundschau nr. 10/1972

143. Spirea, E., Cercetări prospective și prognozele domeniilor prioritare ale cercetării științifice, dezvoltării tehnologice și introducerii progresului tehnic în strategia dezvoltării economico-sociale intensive a țării până în anii 2010-2020. Mutații tehnologice în sistemul național de transporturi, I.C.P.T.T. București, 1987

144. Stavnițer, L. R., Karpuşăna, Z. C., Dinamiceskie trehoo-niie ispitania pescianih gruntov, Osnovania, fundamentei i mehanica gruntov nr. 1/1973

145. Stănoulescu, I., Curs de Geotehnică și fundații, Institutul de Construcții București, 1960

146. Stoenesou, D., Moraru, V., Vătafu, I., Teodoresou, C. C., Cercetări asupra modului de comportare a căii fără joante în diverse condiții de lucru, Lucrările sesiunii științifice I.C.P.T.T. București, aprilie 1971

147. Stoenesou, D., Surugiu, M., Ridicarea portanței căii pe terasamente și poduri de oale ferată pentru asigurarea circulației cu viteze mari, I.C.P.T.T. București, 1973

148. Strungă, V., Surugiu, M., Reducerea consumului energetic prin folosirea geotextilelor la execuția drumurilor și căilor ferate
Lucrările celei de a VI-a consfătuiri pe țară a lucrătorilor de dru-

muri, poduri și căi ferate, Tușnad, dec. 1982

149. Surugiu, M., Velioanu, D., Cosneanu, D., Studiu de fundamentare pentru programul de cercetări și proiectări și aplicarea unui sistem de asigurare a calității construcțiilor. Elemente specifice construcțiilor în transporturi, I.C.P.T.T. București, 1986

150. Surugiu, M., Moraru, V., Remeș, I., Pârvulescu, T., Studii cu privire la prevenirea apariției și înlăturarea porțiunilor de cale cu joante și traverse noroioase, I.C.P.T.T. București, 1978

151. Surugiu, M., Moraru, V., Pârvulescu, T., Remeș, I., Studiul realizării unei șape hidroizolante în zona platformei căii la km 265 - 266, linia Predeal-Teiuș, I.C.P.T.T. București, 1978

152. Surugiu, M., Humeniuc, D., Stabilirea soluțiilor necesare sporirii portanței căii pe linia Ciceu-Deda aplicabile cu ocazia lucrărilor de refacție, I.C.P.T.T. București 1980

153. Surugiu, M., Verificarea calității terasamentelor la rampele de acces ale podurilor peste canalul Poarta Albă-Midia, I.C.P.T.T. București 1986

154. Stefănescu, A., Joante izolante cu rășini sintetice utilizate la calea ferată, I.C.P.T.T. București 1973

155. Sznurowski, M., Odwodnienie torowiska kolejowego, Przegląd kolejowy Drogowy nr. 4/1971

156. Teodorescu, D., Efectul dinamic al convoaielor mobile de sarcini asupra suprastructurii podurilor de cale ferată în cazul circulației cu viteze mari, Lucrările sesiunii științifice I.C.P.T.T. București, aprilie 1969

157. Tkacevskii, I. D., O zapase na osedky dreniruiuşcei poduşki pri ustroistve ee poezdnoi vozkoj, Transportnoe stroitelstvo, nr. 6/1972

158. Trefilov, M., Intreținerea căii pe linii cu viteze mari. Culegere documentară, construcția și întreținerea căii, C.I.P. al M.T.Tc. București, 1966

159. Tyc, P., Teorie a práce ochrany želenični trati před mrazem, Doprava nr. 3/1970

160. Tudor, S., Alimentarea mediană a circuitelor de cale electronice pe liniile cu rezistența de balast coborâtă mult în stații, Sesiunea de comunicări "Noutăți în tehnica feroviară românească" I.P.C.F. București, nov. 1982

161. Verigo, M. F., Lisiuc, V. S., O prințipah pesceta proci-nosti zemliannovo polotna v zone ego osnovnoi ploşceadki, Vestnik nr. 3/1972

162. Verrier, M. G., L'étude de l'infrastructure pour les tres grandes vitesses ferroviaires, Revue Générale des Chemins de fer nr. 1/1970

163. Waters, J. M., Shenton, M. J., Track foundation design, Railway Gazette nr. 4/1968

164. Wehry, A., David, L., Man, T.E., Probleme actuale în tehnica drenajului, Editura Facla, Timișoara, 1982

165. x x x Novala construcția podrelisova osnovanis, Železnice doroghi mira nr. 10/1988

166. x x x O.R.E., Question D 71. Sollicitation de la voie, du ballast et de la plate-forme sous l'action des charges roulantes

167. x x x O.R.E., Question D-117. Adaptation optimale de la voie classique au trafic de l'avenir

168. x x x O.R.E., Question S-1004. Vitese limite du système rail/roue

169. x x x Precision track for 250 raph speeds, Railway Track Structure nr. 10/1971

170. x x x Sollicitation de la voie, du ballast et de la plate-forme sous l'action des charges roulantes, Rail International nr. 5/71

171. x x x Fiche 719/R, Union International des Chemins de fer

172. x x x Normativ departamental privind executarea mecanizată a terasamentelor de cale ferată, CD 125-89

173. x x x Instrucțiuni tehnice departamentale pentru proiectarea barajelor din pământ PD 19-72

174. x x x norme tehnice privind utilizarea geotextilelor și geomembranelor la lucrările de construcții C. 227-88

175 x x x Instrucțiuni tehnice privind parametrii compactării terasamentelor la canale în rambleu din sistemele de îmbunătățiri funciare și metodologia controlului compactării PD 25-78

176 x x x Legea nr. 8/1977 privind asigurarea durabilității, siguranței în exploatare, funcționalității și calității construcțiilor

177. x x x Ordinul nr. 20/14.04.77 al Inspectoratului de Stat pentru Investiții-Construcții pentru verificarea calității și recepționarea lucrărilor ascunse la construcții și instalații precum și pentru recepția terenului de fundare, fundațiilor și structurilor

178 x x x Indrumător provizoriu. Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească platforma și terasamentele de cale ferată la circulația cu viteze mari și sarcini pe osie sporite, I.C.P.T.T. București 1970

179. x x x STAS 1243-83. Teren de fundare. Clasificarea și iden-

tificarea pământurilor

180. x x x STAS 1913/4-86. Teren de fundare. Determinarea limitelor de plasticitate

181. x x x STAS 1913/5-85. Teren de fundare. Determinarea granulozității

182. x x x STAS 2576-51. Lucrări de drumuri. Determinarea indicelui de capacitate portantă a terenurilor de fundare

183. x x x STAS 3197/1-84. Lucrări de cale ferată. Suprastructura căii. Frisme de balastare

184. x x x STAS 3197/2-78. Lucrări de cale ferată. Infrastructura căii. Profiluri transversale tip

185. x x x STAS 4067-84. Căi ferate industriale, normale și înguste. Elemente geometrice

186. x x x STAS 5880-72. Controlul statistic al calității. Controlul în timpul procesului de fabricație prin măsurare

187. x x x STAS 6054-77. Teren de fundare. Adâncimi maxime de îngheț. Zonarea teritoriului Republicii Socialiste România

188. x x x STAS 7582-81. Lucrări de căi ferate. Terșamente. Prescripții de proiectare și de verificarea calității

189. x x x STAS 10849-85. Lucrări de cale ferată. Infrastructura și suprastructura căii. Terminologie

C U P R I N S

1. STUDIU DOCUMENTAR CU PRIVIRE LA ALCĂTUIREA ȘI COMPORTAREA INFRASTRUCTURII DE CALE FERATA SUB INFLUENȚA SOLICITĂRILOR DINAMICE PRODUSE DE TRAFIC	
1.1. Generalități privind alcătuirea și solicitarea dinamică a căilor ferate	1
1.1.1. Cu privire la calea ferată și alcătuirea sa	1
1.1.1.1. Calea ferată clasică și cerințele traficului modern	2
1.1.1.2. Alcătuirea generală a căilor ferate clasice	3
1.1.2. Aspecte privind solicitările dinamice produse de materialul rulant	4
1.1.2.1. Solicitățile dinamice produse de materialul rulant	5
1.1.2.2. Influența caracteristicilor constructive ale materialului rulant și ale oăii asupra caracteristicilor solicitărilor dinamice	6
1.1.3. Aspecte privind solicitarea dinamică a suprastructurii oăii	7
1.1.4. Aspecte privind solicitarea dinamică a infrastructurii oăii	10
1.1.4.1. Influența solicitărilor dinamice asupra eforturilor din infrastructură	10
1.1.4.2. Propagarea vibrațiilor în infrastructura oăii	12
1.1.5. Concluzii privind alcătuirea și solicitarea dinamică a căilor ferate	14
1.2. Comportarea infrastructurii sub solicitările dinamice produse de trafic	14
1.2.1. Aspecte privind comportarea infrastructurilor feroviare sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic	15
1.2.2. Considerații privind metodele de calcul dinamic ale infrastructurilor feroviare	19
1.2.2.1. Cercetări privind comportarea infrastructurilor sub influența solicitărilor dinamice	19
1.2.2.2. Aspecte privind calculul dinamic al infrastructurilor feroviare	22
1.2.2.3. Concluzii asupra comportării și calculului infrastructurilor feroviare sub aspect dinamic	25
1.3. Concepții asupra substratului oăii	25
1.3.1. Concepții asupra substratului oăii la CFR	26
1.3.2. Concepții asupra substratului oăii la alte administrații de cale ferată	29
1.3.3. Concluzii privind concepțiile asupra substratului oăii	31
1.4. Concluzii finale cu privire la alcătuirea și comportarea infrastructurii de cale ferată sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic	32
2. ANALIZA CRITICĂ A UNOR SUBSTRATURI DE CALE FERATA CU COMPORTARE NECORESPUNZĂTOARE A INFRASTRUCTURII	
2.1. Considerații cu privire la rolul și necesitatea studierii substratului oăii ferate	35
2.2. Tronsoane de cale ferată luate în studiu și investi-	

gații făcute	37
2.2.1. Culegerea informațiilor prin studii de teren	38
2.2.2. Informații obținute prin studierea unor materiale de arhivă	43
2.2.3. Studii de laborator pe probe prelevate din amplasament	46
2.3. Constatări cu privire la tipurile de defecte ale substraturilor analizate	47
2.3.1. Constatări făcute pe substraturi colmatate	47
2.3.2. Constatări făcute pe sectoare cu prisma căii colmatată	49
2.3.3. Constatări făcute pe zonele cu traverse noroioase	51
2.3.4. Constatări făcute pe tronsoane cu albi și pungi de balast	52
2.3.5. Constatări făcute pe terasamentele gelive	53
2.4. Concluzii privind analiza substraturilor studiate	54
3. CERCETARI CU PRIVIRE LA FUNCȚIILE SUBSTRATULUI CĂII FERATE	
3.1. Studiul substratului căii ca element drenant al apelor pluviale	56
3.1.1. Studii teoretice cu privire la drenarea apelor pluviale prin pământurile necoezive, cu referire la substrat	56
3.1.2. Studii privind înnoirea căii	59
3.1.2.1. Studii pe teren asupra procesului de înnoire a căii	61
3.1.2.2. Studii de laborator cu privire la înnoirea căii	66
3.1.3. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului ca element drenant al apelor pluviale	68
3.2. Studiul substratului căii ca filtru invers	69
3.2.1. Studii teoretice asupra funcției de filtru invers	69
3.2.2. Studii de teren cu privire la funcția substratului ca filtru invers	75
3.2.2.1. Metodologia de cercetare folosită pentru studiul substratului ca filtru invers	75
3.2.2.2. Datele culese de pe amplasamentele studiate	78
3.2.3. Cîteva studii de laborator cu privire la funcția substratului ca filtru invers	80
3.2.3.1. Metodologia de cercetare folosită în laborator	80
3.2.3.2. Datele obținute prin analizele de laborator	81
3.2.4. Prelucrarea datelor experimentale (teren și laborator)	83
3.2.5. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului ca filtru invers	93
3.3. Scurtă analiză a substratului căii ca întrerupător al ascensiunii capilare a apelor spre prisma căii	94
3.4. Studiul substratului căii ca element de transmitere, reducere și uniformizare a eforturilor dinamice produse de trafic	97
3.4.1. Studii teoretice asupra funcției de transmitere, reducere și uniformizare a eforturilor dinamice produse de trafic	97
3.4.2. Cu privire la stabilirea grosimii optime a substratului căii sub aspectul capacității portante	105
3.4.3. Studii în vederea îmbunătățirii abacii ICPTT de dimensionare a grosimii substratului sub influența solicitărilor dinamice produse de trafic	110
3.4.4. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului căii ca element de transmitere, uniformizare și reducere a eforturilor dinamice produse de trafic	116

3.5. Studiul substratului căii ca amortizor al vibrațiilor produse de trafic	117
3.5.1. Studii teoretice asupra funcției de amortizare a vibrațiilor produse de trafic	117
3.5.2. Măsurători de vibrații efectuate sub circulația trenurilor	119
3.5.2.2. Rezultatele măsurătorilor de vibrații în cale	122
3.5.3. Studii cu privire la comportamentul dinamic al pământurilor necoezive folosibile la realizarea substratului căii	125
3.5.4. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului căii ca amortizor al vibrațiilor produse de trafic	128
3.6. Studiul substratului căii ca izolator termic al terasamentului	129
3.6.1. Studii teoretice asupra funcției substratului căii ca izolator termic al terasamentului	129
3.6.2. Cercetări cu privire la substrat ca izolator termic al terasamentului	131
3.6.3. Concluzii cu privire la studiile făcute asupra substratului ca izolator termic al terasamentului	134
4. STUDII CU PRIVIRE LA PROIECTAREA SI TEHNOLOGIILE DE EXECUTARE A SUBSTRATULUI CAII	
4.1. Studii cu privire la modul de aplicare a rezultatelor cercetării la proiectarea substratului căii ferate	135
4.1.1. Principii generale pentru proiectarea substratului căii	135
4.1.2. Studii cu privire la etapele proiectării substratului căii	140
4.1.2.1. Culegerea datelor de teren necesare proiectării substratului	141
4.1.2.2. Studii realizate prin analize de laborator	144
4.1.2.3. Interpretarea și utilizarea datelor obținute în vederea proiectării substratului căii	144
4.1.3. Câteva exemple practice de lucru la proiectarea substratului căii	146
4.1.3.1. Linie magistrală cu condiții grele de trafic	146
4.1.3.2. Linie secundară industrială	148
4.2. Studii cu privire la tehnologia de executare a substratului căii ferate	149
4.2.1. Studii cu privire la executarea substratului căii în cazul liniilor noi	151
4.2.1.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului	151
4.2.1.2. Sectoare experimentale în vederea verificării tehnologiilor studiate	153
4.2.1.3. Concluzii cu privire la tehnologia de executare aplicată	154
4.2.2. Studii cu privire la executarea substratului căii în cazul dublărilor de linii	155
4.2.2.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului	155
4.2.2.2. Sectoare experimentale în vederea verificării tehnologiilor studiate	156
4.2.2.3. Concluzii cu privire la tehnologia de executare aplicată	157
4.2.3. Studii cu privire la executarea substratului căii în cazul refacțiilor de linii	157
4.2.3.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului	158

4.2.3.2. Concluzii cu privire la tehnologia de executare studiată	160
4.2.4. Studii cu privire la executarea substratului oăii în cazul reparațiilor radiale	160
4.2.4.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului	161
4.2.4.2. Concluzii cu privire la tehnologia de executare studiată	162
4.2.5. Studii cu privire la executarea substratului oăii în cazul reparațiilor periodice și al întreținerii oăii	163
4.2.5.1. Studii privind tehnologiile de executare a substratului	163
4.2.5.2. Sectoare experimentale în vederea testării tehnologiei studiate	164
4.2.5.3. Concluzii cu privire la tehnologia de executare aplicată	165
4.2.6. Studii cu privire la tehnologia compactării substratului oăii	166
4.2.6.1. Studii privind compactarea pământurilor ne-coezive, cu referire la substrat	166
4.2.6.2. Concluzii cu privire la tehnologia de compactare studiată	168
4.2.7. Studii cu privire la controlul executării, recepția și întreținerea substratului oăii	168
4.3. Concluzii privind proiectarea și tehnologiile de executare a substratului oăii	170
5. VALORIFICAREA CERCETĂRILOR, CONCLUZII FINALE, CONTRIBUTII SI PROPUNERI	
5.1. Elemente de noutate rezultate în urma cercetărilor	171
5.2. Aplicația în practică a cercetărilor	174
5.2.1. Introducerea rezultatelor cercetărilor în standarde, normative și instrucțiuni tehnice	174
5.2.2. Utilizarea în proiectare, execuția și întreținerea oăii a rezultatelor cercetărilor	176
5.2.2.1. Soluții de îmbunătățire a oăii pe unele sectoare de oale ferată ale R. C. F. Galați	176
5.2.2.2. Implementarea rezultatelor cercetărilor pe unele oăi ferate din Combinatul Siderurgic Călărași	177
5.2.2.3. Alte aplicații ale rezultatelor cercetărilor	178
5.2.2.4. Aspecte economice datorate utilizării în proiectare, execuția și întreținerea oăii a rezultatelor cercetărilor	178
5.3. Cu privire la eficiența economică a cercetărilor	180
5.4. Cercetări ce se impun a mai fi efectuate	182
BIBLIOGRAFIE	184