

UTILIZAREA MATERIALELOR GEOSINTETICE LA LUCRĂRILE DE INFRASTRUCTURĂ FERROVIARĂ DIN ROMÂNIA. DE LA EXPERIMENTE, LA APLICAREA PE SCARĂ LARGĂ

THE USE OF THE GEOSYNTHETICS FOR THE RAILWAY INFRASTRUCTURE WORKS IN ROMANIA. FROM THE EXPERIMENTS TO ON THE LARGE SCALE APPLICATION

ing. Ștefan BUCIOACĂ, ing. Mihail IONESCU
SC ISPCF SA Bucuresti

REZUMAT. Comunicarea prezintă experiența SC ISPCF - SA în aplicarea în proiectele de terasamente de cale ferată (lucrări de reparații - intervenții și lucrări noi) a soluțiilor tehnice ce înglobează materiale geosintetice, având diferite funcții. Se face o trecere în revistă a celor mai importante aplicații prin prezentarea unor studii de caz din 11 locații de pe diferite linii aparținând rețelei naționale de căi ferate, în succesiune cronologică de realizare, succesiune care constituie și evoluția de la experimente la utilizarea pe scară largă a materialelor geosintetice la lucrările de infrastructură feroviară în proiectele elaborate de SC ISPCF - SA. Sunt prezentate următoarele studii de caz (fig.1):

- 1-Linia București -Timișoara, interval Videle-Ciolpani, zona km 55+000 – 55+800
- 2-Linia Podu Iloaiei - Hârlău, interval Spinoasa - Belcești, zona km 19+400 – 19+600
- 3-Linia București -Timișoara, interval Domașnea-Poarta, km 432+400 – 432+500
- 4-Linia Ploiești - Vicșani, interval Dornești - Vicșani, zona km 484+200 - km 484+300
- 5- Linia Constanța – Mangalia, stația Agigea Ecluză, km 234+100 – 234+200,
- 6 -Linia București – Câmpina, reabilitarea liniei c.f., interval km 1+500 - km 94+600
- 7-Linia Adjud-Ciceu, interval Simbrea - Palanca, zona km 96+650-96+850
- 8-Linia Mărășești – Tecuci, zona km 225+250 - 226+600
- 9-Linia București - Galați, interval Barboși Călători – Filești, zona km. 248+700 - 250+800
- 10-Linia Ploiești-Vicșani, interval Adjud-Pufești, zona km 238+724 -km 240+823
- 11 -Linia Constanța – Mangalia, interval Costinești – Neptun, zona km 250+200 – 252+700

ABSTRACT. The paper presents ISPCF SA's experience in applying the new technical solutions containing geo-synthetic materials - with different functions, to the railway embankment projects (repair-intervention works and new works). A relevant review presenting some case studies in 11 locations on different tracks belonging to the national railway network is made concerning the most important applications, in chronological sequence of achievement; this sequence means the evolution from the experimental stage to the use on a large scale of the geo-synthetic materials for the railway infrastructure in ISPCF SA's projects.

The following case studies are presented (figure 1):

- 1 – Bucharest-Timișoara line, Videle – Ciolpani section, km 55+000 – 55+800 area
- 2 - Podu Iloaiei – Hârlău line, Spinoasa – Belcești section, km 19+400 – 19+600 area
- 3– Bucharest-Timișoara line, Domașnea – Poarta section, km 432+400 – 432+500
- 4 – Ploiești -Vicșani line, Dornești – Vicșani section, km 484+200 – 484+300 area
- 5 – Constanța-Mangalia line, Agigea Ecluză (sluice) Station, km 234+100 – 234+200

- 6 – Bucharest-Câmpina line, rehabilitation of the railway line, km 1+500 – km 94+600 section
- 7 – Adjud-Ciceu line, Sâmbrea – Palanca section, km 96+650 – 96+850 area
- 8 – Mărășești-Tecuci line, km 225+250 – 226+600 area
- 9 – Bucharest-Galați line, Barboși Călători – Filești section, km 248+700 – 250+800 area
- 10 – Ploiești -Vicșani line, Adjud – Pufești section, km 238+724 – 240+823 area
- 11 – Constanța-Mangalia line, Costinești – Neptun section, km 250+200 – 252+700 area



Figura 1: Localizarea lucrărilor pe harta CFR

1-Linia București -Timișoara, interval Videle-Ciolpani, zona km 55+000 – 55+800

În cadrul lucrărilor de refacție a liniei, pe zona km 55+000 – 55+800, fir I, terenul de bază pe care este amplasată linia c.f. este alcătuit din prafuri argiloase plastic consistente, cu modulul de deformație la reîncărcare $EV_2=20,00 - 25,00$ MPa. Pentru asigurarea vitezei de circulație de 120 km/h și reducerea adâncimilor de săpături, s-a prevăzut **dispunerea unui strat de geotextil neșesut, termosudat tip TYPAR SF77 sub stratul de repartiție de 30 cm grosime. Geotextilul are atât funcția de separație între straturi cât și funcția de armare a stratului portant al căii.** Lucrarea s-a executat în închidere de linie și cu circulație pe linia vecină, folosind tehnologia clasică de refacție. După 5 ani de la aplicare, pe zona respectivă nu au mai apărut deformații ale căii de rulare, în condiții de circulație a trenurilor cu viteză normală (figura 2) .



Figura 2: Așternerea geotextilului TYPAR SF77 și a substratului căii

2-Linia Podu Iloaiei - Hârlău, interval Spinoasa - Belcești, zona km 19+400 – 19+600

Pe această zonă, linia c.f. este în rambleu cu înălțimea de cca. 2.00 – 2.50 m, fiind amplasată în albia majoră a râului Bahlui pe pământuri argiloase cu plasticitate foarte mare.

Nivelul pânzei freatice era la cca. 50 cm sub nivelul terenului natural. S-au produs deformații ale căii de rulare care au impus introducerea unor restricții de viteză de 15 km/h (figura 3).

Pentru soluționarea problemei, s-a proiectat și executat, în 2000 - 2001, refacerea terasamentului cu pietriș de râu nespălat și **creșterea capacității portante a terenului de bază prin armarea cu geogridurile din polipropilenă biaxiale TENSAR SS30, dispuse 2 rânduri care au acoperit întreaga suprafață a bazei rambleului (figura 4).**

Aceeași soluție de remediere s-a aplicat și între km 4+300 – 4+800 și km 5+900 -7+500, unde în corpul rambleului se dezvoltaseră punji de balast care au fost injectate ulterior cu lapte de ciment. După îndepărtarea blocurilor injectate, s-a refăcut terasamentul cu armare în bază.

După cca. 5 ani de la repunerea în funcție, nu s-au mai observat tasări sau alte deformații ale căii, în condițiile circulației cu viteză normală a trenurilor.



Figura 3: Nivelul ridicat al apei freatice



Figura 4: Așternerea celei de a 2-a geogridurile în bază

3-Linia București -Timișoara, interval Domașnea-Poarta, km 432+400 – 432+500

Ca urmare a creșterii umidității pământurilor argiloase din rambleul de coastă, înalt de cca. 12.00 m, în data de 25. 02. 2000 s-a produs pierderea stabilității taluzului, prăbușirea platformei căii ferate electrificate și suspendarea suprastructurii c.f. pe o lungime de cca. 60.00m. Aceasta a

condus la închiderea liniei pentru circulația trenurilor și la necesitatea stabilirii unei soluții tehnice pentru refacerea urgentă a continuității căii de rulare (figura 5).

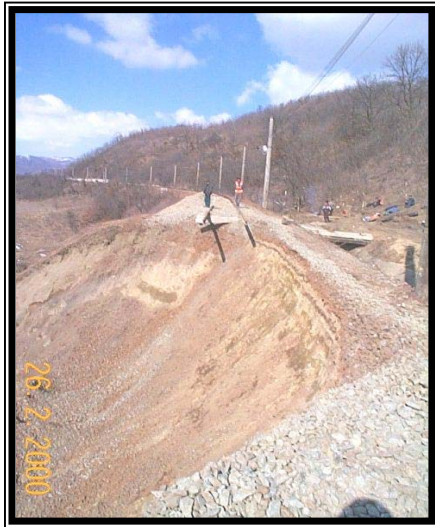


Figura 5: Alunecarea terasamentului c.f.

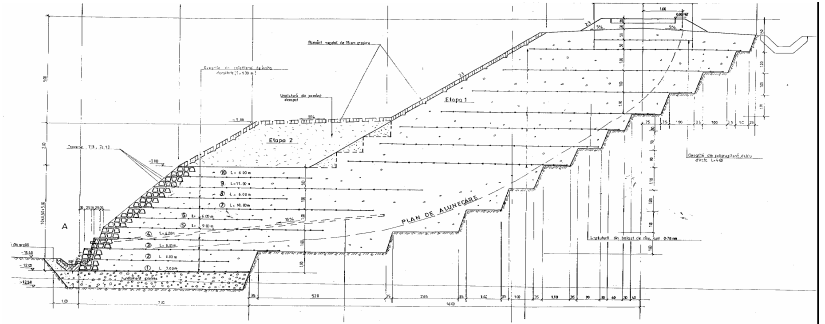


Figura 6: Taluz armat cu geogrilă. Secțiune transversală caracteristică

Datorită perioadei reci în care s-a produs evenimentul, cu temperaturi negative care puteau îngreuna lucrările de terasamente și să întârzie momentul redeschiderii liniei, s-a optat pentru soluții tehnice care să utilizeze materiale insensibile la îngheț, ușor de procurat și de transportat pe calea ferată, precum și materiale locale rezultate din activitatea de întreținere - reparații curente ale suprastructurii c.f.

Pentru restabilirea circulației pe tronsonul avariat au fost prevăzute următoarele lucrări:

- demontarea suprastructurii pe o lungime de 50m;
- decaparea bazei ebulmentului de la cota -12.80 și în trepte până la cota -7.00 de la NST;
- executarea unui taluz abrupt cu înălțimea de 5.80 m din pietriș de râu armat cu geogrilă uniaxiale și parament din traverse de beton recuperate**, pe o lungime de 42m;
- executarea a **10 drenuri forate suborizontal** în lungime de 12.00m și diametru de 110mm, **cu filtru din geotextil**;
- decaparea integrală între cota -7.00 și -0.50 de la NST și **refacerea rambleului din pietriș de râu și armarea cu geogrilă uniaxiale** pentru înfrățirea cu partea neafectată a rambleului;
- remontarea suprastructurii c.f. (figura 6).

Cu toate dificultățile ivite pe parcursul execuției, durata necesară refacerii a fost de 2 săptămâni, linia fiind redeschisă în data de 08.03.2000 (figura 7).



Figura 7: Vedere parament din traverse de beton recuperate

4-Linia Ploiești - Vicșani, interval Dornești - Vicșani, zona km 484+200 - 484+300

Ca urmare a creșterii umidității pământurilor argiloase din rambleul de coastă, înalt de cca. 4.00 m, în data de 24.08.2001 s-a produs pierderea stabilității taluzului de rambleu, tasarea platformei căii ferate încălecate și suspendarea suprastructurii c.f. pe o lungime de cca 80.00m, care a condus la închiderea liniei pentru circulația trenurilor și la necesitatea stabilirii unei soluții tehnice pentru refacerarea urgentă a continuității căii de rulare. Ca urmare a nefuncționării sistemelor de colectare a apelor de pe partea de debleu, a acumulării apelor în zona depresionară (figura 8) și creșterii presiunii acestora, pământurile din baza terasamentului au refulat în partea din aval (figura 9). Se impunea găsirea unei soluții tehnice care să permită redeschiderea cât mai grabnică a liniei, având în vedere importanța deosebită a acestui segment de cale (linie simplă încălecată pe care circulau atât trenuri locale cu ecartament normal cât și trenuri din traficul internațional cu ecartament larg).



Figura 8: Tasarea rambleului liniei încălecate



Figura 9: Refularea terenului de bază

Investigațiile geotehnice efectuate în regim de urgență au pus în evidență existența sub rambleu a unor straturi de pământ organic (turbă) de consistență redusă în grosime de până la 7.00m în care a avut loc pierderea stabilității rambleului. Pentru restabilirea circulației trenurilor cu restricție de viteză de 15 km/h, pe tronsonul afectat au fost executate următoarele lucrări:

- decaparea materialului din ebulment până la cota -2.60 de la NST;
- executarea unei contrabanchete din balast de râu **armat cu geogrilă în bază** și din pământul rezultat din decapări;

- executarea a 6 buc. drenuri transversale cu corp drenant din piatra spartă recuperată din prisma căii și filtre din geotextile;
- așternerea unui *geotextil cu funcția de separare* la baza decapării și refacerea ramboului cu pietriș de râu, *armat în bază cu două rânduri de geogridurile biaxiale, dispuse la un interspațiu vertical de 0.50 m;*
- remontarea suprastructurii c.f. (figura10).

Lucrările au fost realizate în 7 zile, în regim de lucru non-stop (figura 11).

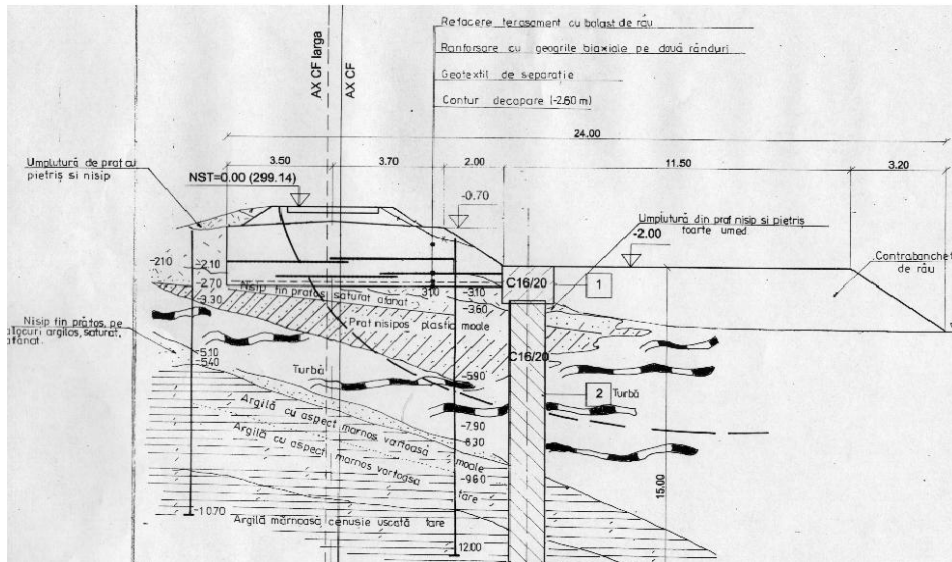


Figura 10: Secțiune transversală caracteristică



Figura 11: Așternerea geogridurilor în baza decapării și a materialului de umplură

După deschiderea circulației trenurilor, lucrarea a fost completată cu o sprijinire cu elemente fișate încastate elastic în stratul de argilă prăfoasă tare (coloane Benotto d=1080 mm), cu o rețea de șanțuri colectoare în aval de drenurile transversale și cu un dren longitudinal de interceptare executat în partea din amonte a căii sub noul șanț de platformă, cu corp drenant din sorturi de pietriș și filtru din *geotextile nețesute*.

5- Linia Constanța – Mangalia, stația Agiea Ecluză, km 234+100 – 234+200

În urma ploilor și a creșterii umidității pământurilor argiloase din corpul unui rambou înalt de cca. 12 m, în luna noiembrie 2001 s-a produs alunecarea părții superioare a taluzului pe o

lungime de cca 100.00m (fig. 12), cu refularea pe prima contrabanchetă (fig. 13). Linia de legătură spre portul Agigea Sud Ferryboat a devenit impracticabilă și a fost închisă, aducând serioase daune operatorilor feroviari de marfă spre port.



Figura 12: Alunecarea rambleului liniei ferry-boat



Figura 13: Refularea bazei rambleului

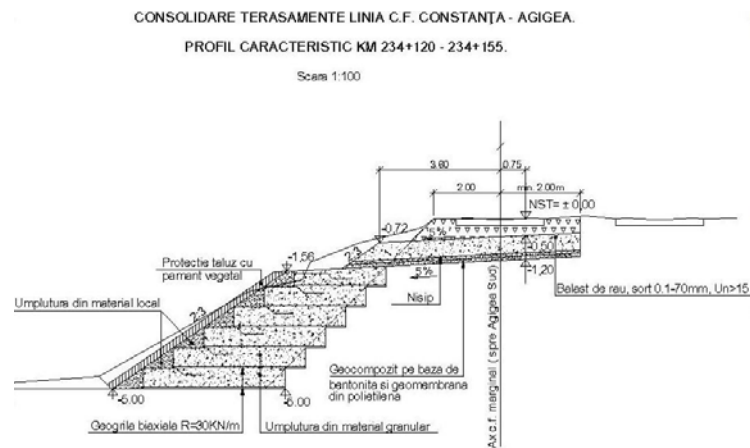


Figura 14: Secțiune transversală caracteristică

Pentru restabilirea grabnică a circulației, în condiții meteorologice nefavorabile, s-a proiectat și realizat **refacerea terasamentului cu steril de carieră, având taluzul armat cu geogrilă uniaxială de 55kN/m (figura 14).**

Aprovizionarea materialelor s-a făcut cu trenuri de lucru specializate, iar punerea în operă prin basculare directă, împrăștiere, nivelare și compactare cu mijloace mecanice tradiționale (figura 15). Lucrarea a fost executată în 10 zile.



Figura 15: Așternerea geogridurilor în baza decapării și a materialului de umplură

6 -Linia București – Câmpina, reabilitarea liniei c.f., interval km 1+500 - km 94+600

Pe baza experienței acumulate la lucrări punctuale de restabiliri de linii și având în vedere avantajele oferite de materialele geosintetice, reabilitarea liniei c.f. București – Câmpina a constituit momentul extinderii utilizării acestora la lucrările de infrastructură feroviară.

După o perioadă relativ lungă de timp în care nu s-au executat lucrări de investiții la infrastructura căilor ferate, începând cu anul 2001, Compania Națională de Căi Ferate “CFR” – SA a beneficiat de programe finanțate de băncile europene sau din fonduri ISPA și de la bugetul de stat pentru reabilitarea infrastructurii feroviare. Prioritar, s-au avut în vedere liniile de pe Coridorul IV paneuropean de transport feroviar. Segmentul românesc al acestui coridor cuprinde ruta Frontiera cu Ungaria – Curtici – Arad – Simeria – Coșlariu – Brașov – București – Fundulea – Fetești – Constanța, în lungime totală de cca. 880 km linie dublă, electrificată. Scopul principal al lucrărilor a fost de a aduce parametrii tehnici ai liniilor de pe acest segment la cerințele impuse marilor linii europene de cale ferată, exprimate în convențiile europene privind transporturile feroviare la care România a aderat (AGTC – Legea nr. 8/1993, AGC – Legea nr. 100/1996, TER – Legea nr.14/1994). S-a avut în vedere creșterea capacității de circulație prin sporirea vitezelor trenurilor, creșterea tonajelor trenurilor și a sarcinilor pe osie, precum și dezvoltarea sistemului de transport combinat.

În cadrul acestor activități, infrastructura căii ferate s-a bucurat de o atenție deosebită întrucât, practic, datorită stării sale tehnice existente, a fost necesară reabilitarea fiecărui metru de linie. Principalele probleme care trebuiau soluționate s-au referit la:

- a) extinderea dimensiunilor platformei căii la necesitățile impuse de distanțele minime dintre linii, de dimensiunile actuale ale suprastructurii căii și de asigurarea banchetei pentru circulația personalului feroviar de intervenție și întreținere;
- b) asigurarea capacității portante a platformei căii la nivelul cerințelor pentru noua sarcină pe osie de calcul și la noile viteze de circulație;
- c) asigurarea protecției contra înghețului;
- d) drenarea apelor din zona platformei liniei;

În soluționarea fiecăreia dintre problemele enumerate mai sus, materialele geosintetice, datorită calităților lor speciale, au fost utilizate pe scară largă, astfel:

a) Extinderea dimensiunilor platformei căii

Pentru extinderea dimensiunilor platformei căii s-au proiectat și executat structuri de susținere cu taluze având pante abrupte (3:1) sau cu paramente verticale, armate cu geogriduri.

Structurile au înălțimi variabile, atingând în mod curent înălțimea de 4.00 - 5,00 m în cazul debleelor și 1.20 – 1.60m în cazul rambleelor. S-a prevăzut folosirea geogrilelor uniaxiale din polietilenă, cu noduri integrate, cu diferite rezistențe unitare la întindere, funcție de necesități, ținând cont de reducerile aferente pentru o durată de serviciu de 120 ani.

În paramente s-au realizat paramente din zidărie de piatră brută legate de structura de rezistență cu conectori din geogrile și ancore din oțel beton (figurile 16 - 21) sau s-a prevăzut vegetalizare prin folosirea de pământ vegetal și geotextile biodegradabile cu sămânță de ierburi perene încorporată (figurile 22 - 25).



Figura 16: Zid debleu în execuție km 57+280 – martie 2003



Figura 17: Zid debleu finalizat km 57+280 – iunie 2004



Figura 18: Zid debleu km 57+400– februarie 2003



Figura 19: Zid debleu km 57+400 – martie 2003



Figura 20: Zid debleu km 57+400 – iunie 2004



Figura 21: Zid debleu km 57+400 – iunie 2004



Figura 22: Taluze abrupte armate km 86+900 - 87+400 septembrie 2002



Figura.23: Taluze abrupte armate km 86+900 - 87+400 iunie 2004



Figura 24: km 87+300 – iunie 2004



Figura 25: km 87+400 – iunie 2004

b) Asigurarea capacității portante a platformei căii

Asigurarea capacității portante a platformei căii la noile cerințe a fost soluționată prin introducerea sub prisma căii a unui strat portant alcătuit din materiale granulare cu curba granulometrică controlată, insensibile la îngheț. Grosimea necesară a stratului portant s-a stabilit ținând cont de sarcina pe osie proiectată, viteza de circulație a trenurilor precum și de capacitatea portantă a pământurilor existente din zona platformei. Capacitatea portantă a pământurilor a fost exprimată printr-un indicator global - modulul de deformație la reîncărcare EV2. Acesta este măsurat în situ cu placa Lucas având diametrul de 300 mm, după o metodologie acceptată de Uniunea Internațională a Căilor Ferate conform DIN 18134 sau este estimat pe baza principalilor indicatori geotehnici ai pământurilor existente sub zona platformei căii (conținutul de părți fine, indicele de consistență, indicele de plasticitate, condițiile hidrologice).

La dimensionarea grosimii straturilor portante s-au avut în vedere prevederile normelor europene din domeniu, preluate din normele EBGeo (Societatea profesională germană de geotehnică). Conform acestor norme, cerințele de portanță la nivelul platformei căii sunt exprimate prin valoarea necesară a modulului de deformație EV2. Aceste valori diferă, în funcție de tipul liniei și viteza de circulație a trenurilor. De exemplu, pentru linii existente care se reabilitează la viteze de circulație de maxim 160 km/h pe care circulă material rulant având sarcina pe osie de 225 kN, valoarea impusă pentru EV2 la nivelul platformei căii este de 50 MPa.

Datorită valorilor modeste ale modulului de deformație la reîncărcare EV2 găsite la nivelul platformelor existente pe diferite sectoare și a neomogenității caracteristicilor pământurilor, atât în lungul căii cât și în sens transversal (amestec de piatră spartă cu pământuri coezive, condiții hidrologice dificile etc), au rezultat valori mari ale grosimilor necesare ale straturilor portante. Realizarea acestor straturi, cu grosimi mai mari de 50 cm, ar fi fost greu de îndeplinit în condițiile menținerii circulației feroviare pe linia vecină și încadrării în duratele de execuție stabilite prin graficele de lucrări aprobate.

Una din soluțiile de reducere a grosimii straturilor portante a fost aceea de armare cu geogridurile biaxiale. Plecând de la investigațiile geotehnice detaliate ale platformei existente și folosind experiența internațională acumulată în privința utilizării valorilor EV2 determinate cu placa având diametrul de 300 mm, **au fost definite secțiunile transversale de alcătuire a straturilor portante (substratul căii) în care au fost înglobate geogridurile biaxiale, amplasate în baza**

stratului (figurile 26 -27). In acest fel s-a putut obtine o reducere cu cca. 30% a grosimii necesare a stratului portant.

Acest tip de structură armată a fost aplicat pentru zonele în care valorile EV2 la nivelul platformei de pământ erau cuprinse între 10 și 30 MPa.



Figura. 26: Așternerea geosinteticelor cu tren de lucru

Figura 27: Realizarea stratului portant armat

S-au prevăzut geogriile biaxiale, având următoarele caracteristici minime:

- tip material : polipropilenă sau polimer asemănător, cu densitate mare
- rezistența la întindere în sens longitudinal : ≥ 30 kN/m;
- rezistența la întindere în sens transversal: ≥ 30 kN/m;
- rezistența la întindere pe ambele direcții principale la alungirea de 2% : ≥ 10 kN/m;
- rezistența la întindere pe ambele direcții principale la alungirea de 5% : ≥ 20 kN/m;
- deschiderea ochiurilor pe ambele direcții principale: ≤ 40 mm;
- rezistența la razele ultraviolete;
- să poată lucra între -30° și $+50^{\circ}$ C;
- lățimea minimă : ≥ 4.00 m.

Pentru zonele în care valorile modului EV2 au fost mai mici de 10 MPa, s-au adoptat soluții de armare cu două rânduri de geogriile biaxiale, dispuse la echidistanța verticală de cca. 150 mm. Caracteristicile celui de al doilea rând de geogriile se stabilesc în funcție de valoarea efectivă a lui EV2 (care trebuie să fie mai mare de 6 MPa)

De regulă, armarea se face pe zona lățimii active de sub talpa traversei.

c) Asigurarea protecției împotriva înghețului

Asigurarea protecției împotriva înghețului a pământurilor sensibile sau foarte sensibile la îngheț situate sub stratul portant s-a realizat tot prin stratul portant descris mai sus. S-a adoptat principiul protecției diferențiate, în funcție de gradul de sensibilitate la îngheț .

Menținerea caracteristicilor granulometrice ale stratului portant care-i conferă insesibilitate la îngheț s-a realizat prin interpunerea, la baza stratului portant (armat sau nu), a unui **geotextil neșesut, având funcția principală de separare a straturilor**, care să împiedice ascensiunea particulelor fine din bază în stratul portant, ca urmare a efectului de pompaj determinat de trecerea roților materialului rulant.

Deoarece, de regulă, la baza stratului portant se află pământuri eterogene, pentru geotextil s-au impus următoarele caracteristici minime:

- material de proveniență : polimer nou, fibră continuă;
- tip geotextil : neșesut

- masa unitară : $\geq 250 \text{ g/m}^2$;
- rezistența la poansonare cu poanson CBR: $\geq 2500 \text{ N}$
- permeabilitatea k_v sub sarcina de 20 kPa: $\geq 5 \times 10^{-4} \text{ m/sec.}$
- deschiderea porilor O_{90} : 0.06 – 0.20 mm

În situațiile când din condiția de armare rezultă necesitatea utilizării a două rânduri de geogrilă, datorită faptului că tehnologiile actuale cu trenuri de lucru specializate nu permit așternerea simultană a 3 geosintetice (geotextil, geogrilă, geogrilă), s-a adoptat soluția utilizării în baza stratului portant a unui geocompozit. Acesta este ori de tipul unui geotextil lipit de geogrilă ori un geotextil special, de înaltă rezistență, care îndeplinește atât funcția de armare cât și pe cea de separație.

d) Drenarea apelor din zona platformei liniei

În cadrul lucrărilor de reabilitare a infrastructurii căii ferate, un accent deosebit se pune pe asigurarea portanței platformei, independent de condițiile hidro-meteorologice ale amplasamentelor. Asigurarea portanței platformei este condiționată de menținerea pământurilor aflate sub stratul portant cu umidități cât mai mici. Pentru atingerea acestui obiectiv s-au adus modificări în profilul transversal al infrastructurii, prin prevederea de pante transversale de 5% atât la nivelul superior al platformei căii cât și la baza acestuia. Întrucât materialul din stratul portant are coeficientul de permeabilitate de cca. $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, apele meteorice se scurg în proporție de cca 80% pe fața superioară a platformei în afara zonei active și numai cca 20% se infiltrează. Pentru captarea și evacuarea apelor infiltrate s-au prevăzut drenuri longitudinale de platformă ori de câte ori nu a fost posibilă amplasarea de șanțuri sau rigole datorită constrângerilor dictate de spațiile limitate disponibile în vecinătatea liniilor c.f.

Drenurile longitudinale sunt de forma unor tranșee drenante flexibile, în care umplutura drenantă se realizează din sorturi de pietriș de râu, spălate. **Filterul drenului se realizează din geotextile neșesute**, dispuse pe tot conturul tranșeei săpate și cu petrecerea de min. 20 cm a capetelor la partea superioară, iar transportul apei colectate se face cu tuburi de drenaj, prevăzute cu fante, din polietilenă de înaltă densitate.

Caracteristicile hidrice ale geotextilelor cu funcția de filtru s-au stabilit în corelație cu proprietățile granulometrice ale pământurilor ce trebuiau drenate. Pe baza cunostințelor acumulate de alte administrații feroviare din Europa, s-au folosit criteriile din normele germane. Conform acestora, dimensiunile porilor geotextilului se calculează din criteriul de protecție contra eroziunii de contact astfel:

- pentru pământuri dificile de drenat , definite ca având $d_{40} \leq 0.06 \text{ mm}$:

$$-O_{90} \leq 10 \cdot d_{50} \text{ și}$$

$$-O_{90} \leq d_{90}$$

- pentru pământuri grosiere , definite ca având $d_{40} \geq 0.06 \text{ mm}$:

$$-O_{90} \leq 5 \cdot d_{10} \cdot U^{1/2}, \text{ unde } U = d_{60}/d_{10} \text{ și}$$

$$-O_{90} \leq d_{90}$$

în care : O_{90} reprezintă dimensiunea porilor geotextilului;
 d_{10} , d_{50} , d_{60} și d_{90} reprezintă diametrii echivalenți de pe curba granulometrică a pământului de drenat.

Din criteriul de prevenire a colmatării, rezultă grosimea(g) minimă a geotextilului, care se calculează cu formula:

$$-g \geq 10 \cdot O_{90}$$

Caracteristicile minimale impuse geotextilelor utilizate cu funcția de filtru, au fost următoarele:

- material de proveniență : polimer nou, fibră continuă;
- tip geotextil : neșesut;
- masa unitară : $\geq 150 \text{ g/m}^2$;

- rezistența la poansonare cu poanson CBR: ≥ 1500 N;
- permeabilitatea k_v sub sarcina de 20 kPa: $\geq 1 \times 10^{-3}$ m/sec;
- deschiderea porilor O_{90} :
 - conform calculelor de dimensionare;
 - 0.08 – 0.16 mm pentru pământuri din amestecuri neomogene.

Pentru transportul apei colectate de drenuri s-a prevăzut utilizarea de **tuburi din materiale plastice, perforate**. S-au folosit tuburi din polietilenă de înaltă densitate, riflata și perforate parțial. Diametrul minim al tuburilor a fost de 150 mm. Suprafața golurilor din perforații a fost de min. 30 cm²/ml de tub. Caracteristicile tuburilor au fost stabilite conform DIN 4262 –2001 fiind de tipul PEHD $D \geq 150$ –R2-LP. Semnificațiile notațiilor specificate anterior reprezintă:

- PEHD - materialul din care este fabricat tubul;
- D - diametrul interior al tubului;
- R2 - tip perete tub (riflat exterior, neted interior);
- LP - tip perforație (perforație parțială);

Datorită faptului că suprafața interioară a tuburilor este netedă și asigură un coeficient de rugozitate foarte mic, drenurile au putut fi executate cu pante longitudinale foarte mici, comparabile cu declivitățile liniei. În acest fel s-au putut evita adâncirile nejustificate ale drenurilor. Panta minimă a fost de 1.5‰.

Îmbinarea tuburilor s-a făcut prin mufare, ele fiind puse în operă din aval spre amonte în tranșeea săpată. Din fabricație, tuburile au un marcaj longitudinal care este foarte util la poziționarea corectă a acestora, astfel încât perforațiile să fie poziționate în partea superioară a secțiunii de scurgere.

Utilizarea tuburilor din materiale plastice s-a dovedit a fi o soluție avantajoasă, având în vedere că pe traseele drenurilor au fost întâlnite o serie întreagă de obstacole care trebuiau ocolite (fundații abandonate, subtraversări cu cabluri și conducte). Datorită manevrabilității lor deosebite, s-au putut face cu ușurință devierile necesare față de traseul proiectat, fără a mai fi necesară întreruperea lor și interpunerea de cămine de vizitare suplimentare.

Remarci.

1. Pe acest tronson s-au prevăzut și executat toate categoriile de lucrări descrise mai sus, din care unele pentru prima dată la calea ferată. La această dată se poate concluziona că includerea materialelor geosintetice în soluțiile constructive le-a adus acestora, pe lângă simplitate și un spor de tehnicitate.
2. Ușurința cu care a fost asimilată aplicarea lor, atât la proiectare cât și la execuție, a permis extinderea utilizării și pe următoarele tronsoane a soluțiilor deja concepute de SC ISPCF – SA (Câmpina - Predeal, București Băneasa - Fundulea, Fetești - Constanța), atât de proiectanții proprii cât și de alte societăți de proiectare.
3. Experiența dobândită a fost o sursă de inspirație pentru dezvoltarea de noi aplicații ale materialelor geosintetice la infrastructura feroviară.

7-Linia Adjud-Ciceu, interval Simbrea - Palanca, zona km 96+650-96+850

Precipitațiile abundente din zilele de 12 - 14 iulie 2005 au produs viituri pe râul Trotuș, care au avut efecte distructive asupra terasamentului liniei c.f. și a drumului național DN12A, pe cca. 200m lungime. Terasamentele au fost spălate pe adâncimi de cca. 8.00 m. Suprastructura c.f. a rămas suspendată. Instalațiile de tracțiune electrică au fost distruse (figura 28).



Figura 28: Linia c.f. spălată de vitură



Figura 29: Vederea geotextilului în baza rambleului

Pentru restabilirea circulației a fost necesară refacerea terasamentului c.f. cu înălțimea de circa 8,00 m pe circa 250 m lungime, din materiale locale (balast de râu) așezate pe o saltea din anrocamente de piatră brută. Pentru controlul eroziunilor, în baza rambleului a fost dispusă o **membrană de geotextil MADRITEX cu masa de 1000 g/mp**. Pe timpul execuției refacerii rambleului a fost necesară săparea unui canal de deviere și executarea unui epiu de dirijare, în scopul îndepărtării apelor de terasament. Protecția bazei terasamentului c.f. refăcut s-a realizat cu un dig din saltele de gabioane cu coronament din blocuri din beton articulate și cu epiuri de încastrare, dispuse din 10 în 10 m. Racordarea în bază spre albie s-a asigurat cu un pinten din anrocamente, așezat pe o membrană de **geotextil MADRITEX cu masa de 1000 g/mp (fig. 29)**. După deschiderea liniei pentru circulația trenurilor, s-a realizat corecția și calibrarea definitivă a albiei râului Trotuș, cu o secțiune trapezoidală.

8-Linia Mărășești – Tecuci, interval Doaga - General E. Grigorescu, zona km 225+250 - 226+600

Ca urmare a viiturii din data de 13.07.2005, apele revărsate ale râului Siret au produs spălarea terasamentelor de cale ferată dublă electrificată Mărășești – Tecuci, între km 225+250 - km 226+150, astfel:

- între km 225+250 și km 225+260, s-au produs spălări ale liniilor 7-8-9 din stație, pe adâncimea de circa 2,50 m;

- între km 225+900 și km 226+150, s-au produs spălări ale liniilor directe, pe adâncimea de max. 4,00 m, suprastructura c.f. rămânând suspendată;

- între km 226+100 și km 226+600 ca urmare a retragerii apelor revărsate peste dig și înmuierii terasamentelor în partea din bază, au apărut deformații ale rambleului c.f. înalt de cca 10 - 12 m, constând în tasări ale căii de rulare ale firului II de circulație, crăpături longitudinale la nivelul platformei căii și deformații ale taluzelor prin dsprinderi ale părții superioare și refulări în zona înmuiață.

Pentru asigurarea siguranței circulației trenurilor și a stabilității rambleului înalt au fost necesare următoarele lucrări:

- refacerea taluzului de rambleu pe zona km 226+290 ÷ 226+450, firul I de circulație

- consolidarea terenului de bază și extinderea terasamentului c.f. pe zona km 226+125 ÷ km 226+607, L=481m, pe partea firului II, cu **contrabanchetă și taluz, armate cu geogriile uniaxiale (figura 30)**.

- protejarea taluzelor tersamentelor refăcute cu georețele din polimeri și pământ vegetal.

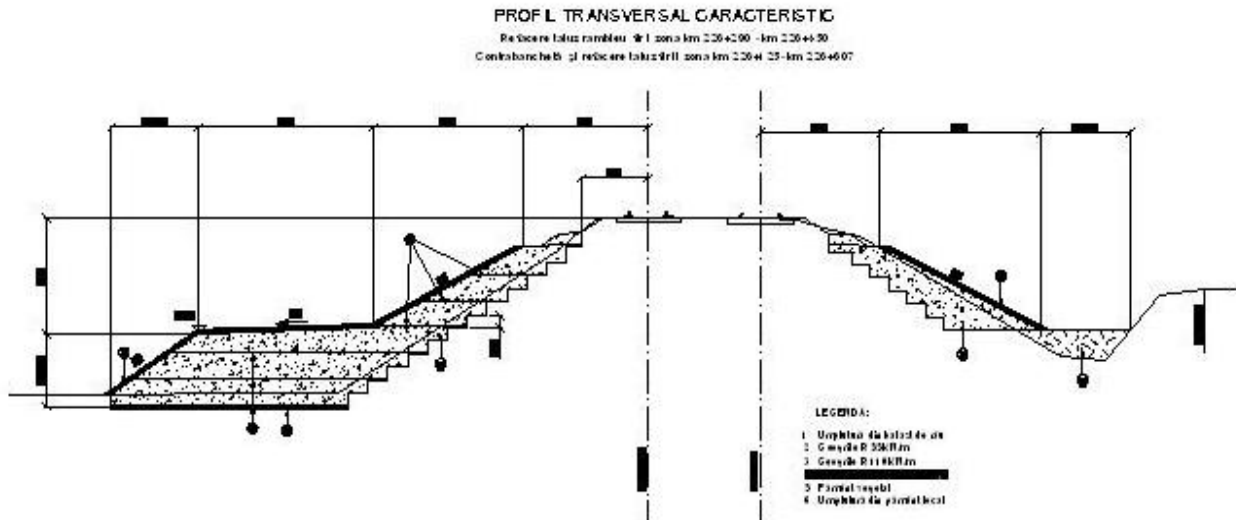


Figura 30: Ranforsare taluz stâng cu contrabanchetă din pământ armat cu geogrilă

La stabilirea necesarului și a poziției de amplasare a geogrilor s-a utilizat programul de calcul RESSA 2.

9-Linia București - Galați, interval Barboși Călători – Filești, zona km. 248+700 - 250+800

În urma ploilor torențiale din perioada 12-18.07.2005 au apărut deteriorări în zona km 248+700 - 250+800. Creșterea nivelului lacului Cătușa a condus la inundarea liniei c.f. în stația Barboși și la spălarea terasamentelor la km 248+700 – 248+ 900. Cantitățile foarte mari de apă au avut un puternic efect eroziv asupra pământurilor loessoide de la suprafața taluzurilor, între km 248+900 250+800, producând:

- surparea terasamentului în puncte până la capătul traverselor;
- colmatarea 100% a șanțului longitudinal de la km 248+890 - 250+500;
- ogașe adânci săpate în taluz prin ravinarea intensă a pământurilor loessoide;
- murdărirea prismei de piatră spartă cu materiale fine aduse de apele scurse de pe taluz, și cu pământurile prabușite peste platforma c.f.;
- fisurarea terasamentului, în lungul liniei, la circa 2,50 m față de axul c.f între km 250+600 – km 250+800 (fig 31).



Figura 31: Inundarea liniei c.f. de apele lacului Cătușa

Pentru readucerea căii în parametrii tehnici normali de funcționare, a fost necesară proiectarea unei game diverse de lucrări de reabilitare, dintre care amintim:

- consolidarea platformei c.f. pe zona km 248+665 - km 249+075. Întrucât pe această zonă nu sunt posibilități de asigurare a scurgerii apelor, iar nivelele variabile ale apelor lacului Cătușa pot oricând să inunde platforma căii, s-a optat pentru varianta **armării platformei căii cu geocelule umplute cu material drenant, amplasate pe geotextile care să asigure separarea straturilor** (figura 32). În aceste condiții, variațiile nivelului apei în platforma căii nu vor mai putea antrena fracțiunile fine din subsolul liniei c.f. Pentru protejarea împotriva acțiunii valurilor, pe partea dinspre lac a căii s-a prevăzut realizarea unui dig din gabioane așezate pe **geotextile neșesute cu funcțiile de filtrare și separare a straturilor**.

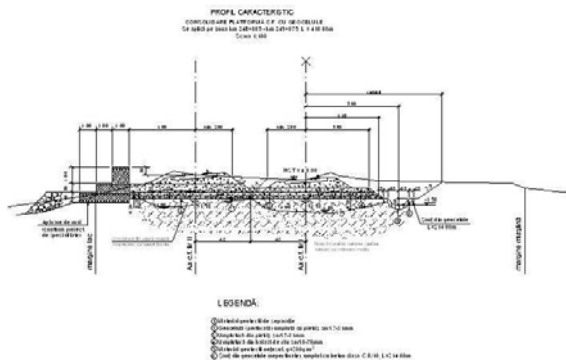


Figura 32: Armarea platformei c.f. cu geocelule

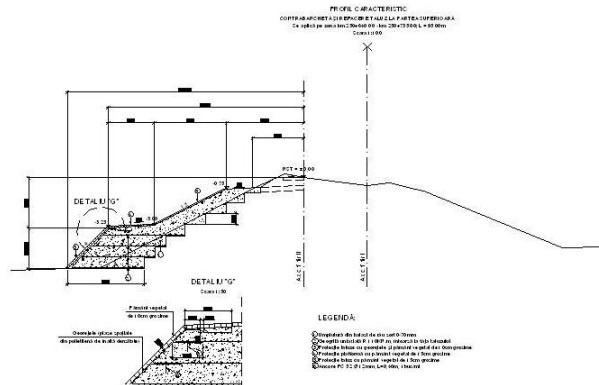


Figura 33: Ranforsare rambleu cu taluz abrupt armat cu geogridurile

- lucrări de scurgerea apelor constând din **șanț din geocelule, betonat, între km 248+665 și km 248+877,45** și șanț ranforsat monolit, zona km 248+877÷249+075, km 249+078 ÷ 249+333, km 249+336 ÷ 249+466, km 249+469 ÷ 49+737, km 249+741 ÷ 50+095 și km 250+098 ÷ 250+650.

- consolidarea rambleului fisurat între km 250+640 - km 250+735, stânga c.f. cu contrabanchetă realizată din **balast armat cu geogridurile uniaxiale** și aducerea platformei căii la dimensiuni standardizate prin **extinderea rambleului cu taluz armat cu geogridurile uniaxiale** (fig. 33).

10-Linia Ploiești-Vicșani, interval Adjud-Pufești, zona km 238+724 -km 240+823

Linia c.f. traversează albia majoră a râului Trotuș printr-un rambleu cu înălțimea de cca. 3.50 - 4.00 m. Apele revărsate ale râului Trotuș, prin viitura din noaptea de 12-13.07.2005 au afectat grav linia c.f. dublă și electrificată, Ploiești – Vicșani, pe zona cuprinsă între km. 238+724 - 240+823, astfel :

- între km 238+724 și km 239+500, s-au produs spălări ale terasamentului și ale terenului de bază. Suprastructura c.f. a fost suspendată și deplasată spre partea dreaptă la circa 10m;
- între km 239+500 și km 239+700, s-au produs spălări locale ale taluzului drept și dislocări de piatră spartă în mai multe zone;
- între km 239+700 și km 239+850, terasamentul de cale ferată a fost complet spălat iar suprastructura căii suspendată, formându-se gropi cu adâncimi de până la 6 m și diametre în plan de cca. 60m;
- podețul de la km 239+752 a avut infrastructurile afuiate și deplasate din poziția inițială, iar suprastructura deplasată din poziția inițială;

- între km 239+850 și km 240+000, terasamentele liniei 1 au avut spălări locale în taluzul pe partea dreaptă până la adâncimea de 3 m;
- între km 240+000 și km 240+400, terasamentele c.f. și terenul de bază au fost complet spălate până la adâncimea de 3 m, suprastructura c.f. fiind suspendată;
- instalațiile de tracțiune electrică, BLA și TCF au fost complet distruse.

Prin distrugerea a cca. 2 km de linie dublă electrificată, s-a întrerupt legătura feroviară dintre Muntenia și Moldova (figura 34).



Figura 34: Distrugerea infrastructurii feroviare pe cca 2 km

În cadrul lucrărilor de refacere a infrastructurii, **materialele geosintetice și-au găsit aplicabilitatea atât ca elemente de separare cât și ca elemente de armare.**

Astfel, după îndepărtarea materialelor improprii aduse de viitură, la baza viitorului rambleu refăcut cu materiale necoezive, au fost așternute geotextile neșesute pentru separarea straturilor și geogriile pentru armarea pământurilor de portanță scăzută. S-au utilizat **pe toată lățimea bazei rambleului geotextile și geogriile uniaxiale cu rezistența la întindere de 110KN/m** (figura 35).

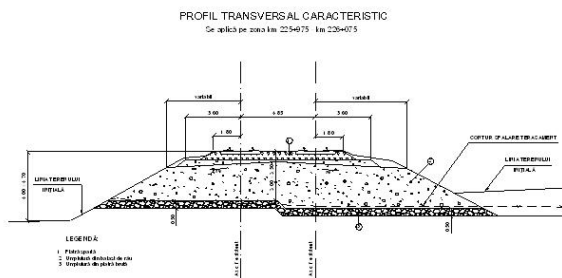


Figura 35: Armarea bazei rambleului cu geogriile

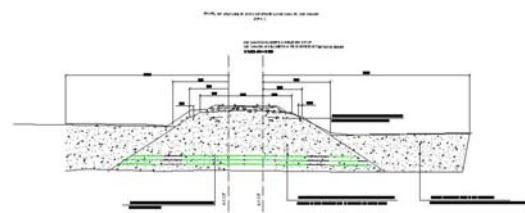


Figura 36: Detaliu armare rambleu pe zone depresionare cu mâl

În zona podețului nou km 239+030, și în zonele depresionare create în terenul de bază cu adâncimi de cca. 6,00m, unde nu s-a putut evacua integral mâlul depus, pentru sporirea capacității portante a materialului din baza terasamentului, s-au prevăzut trei rânduri de geogriile începând de la adâncimea de 4,00m de la nivelul superior al traverselor (fig. 36).

Linia a fost repusă în circulație la 25 septembrie 2005. În prezent se circulă cu viteză normală, neapărând nici un fel de defecte ale terasamentelor refăcute.

11 -Linia Constanța – Mangalia, interval Costinești – Neptun, zona km 250+200 – 252+700

Precipitațiile abundente căzute în perioada 20-24.09.2005, estimate la 200l/mp, au condus la formarea unui val de apă de cca. 4m într-o zonă depresionară din amonte de calea ferată, provocând inundarea localității Costinești. Au fost afectate și zonele c.f. km 250+300 - km 250+500 și km 252+270 - km 252+700 de pe linia Constanța - Mangalia, unde viitura cea mai puternică a distrus în întregime terasamentul înalt de cca. 4.00m, a spălat prismul de piatră spartă, iar cadrul șină-traversă a rămas suspendat, torsionat și deplasat din ax cca. 3m, pe o lungime de 150m (figura 37).



Figura 37: Distrugerea liniei c.f. între km 252+400 - 252+550

Pentru redeschiderea liniei a fost necesară refacerea terasamentului c.f. pe zona km 252+500 ÷ km 252+700, L=200m cu material de umplutura necoeziv (steril de carieră). Datorită consistenței reduse a pământurilor din baza terasamentelor a fost necesară **așternerea de geotextile nețesute pentru separație și armarea bazei rambleului cu geogridurile uniaxiale de 110 KN/m și biaxiale de 30K/m**. Protecția taluzelor noi contra ravinării s-a realizat cu **georețele și pământ vegetal** (figurile 38, 39).

După redeschiderea liniei pentru circulația trenurilor, nu au apărut nici un fel de deformații ale căii în condiții de exploatare normală a liniei.

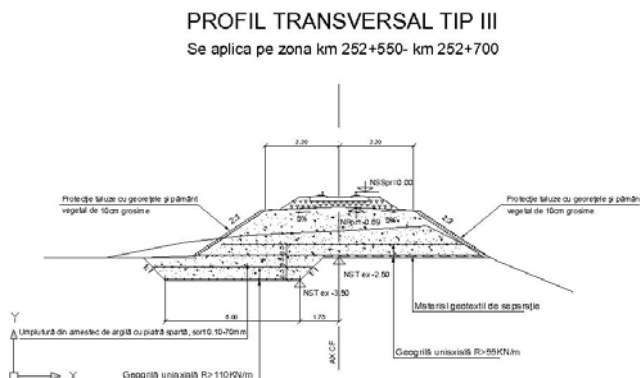


Figura 38: Detaliu de armare a terasamentului



Figura 39: Așternerea geosinteticelor

CONCLUZII

Prezenta comunicare a avut ca scop trecerea în revistă a unor aplicații semnificative în cadrul evoluției soluțiilor tehnice proiectate de SC ISPCF - SA pentru lucrările de infrastructură feroviară care au înglobat materiale geosintetice.

Din cele prezentate mai sus se desprind următoarele concluzii:

1. SC ISPCF - SA a fost promotorul utilizării materialelor geosintetice la calea ferată, iar în lipsa unor reglementări tehnice naționale în domeniu a militat pentru realizarea acestora;
2. Materialele geosintetice și-au găsit aplicabilitatea în cadrul proiectelor de terasamente de cale ferată elaborate de SC ISPCF -SA, introducerea acestora făcându-se treptat, în măsura în care a fost dovedită eficiența soluțiilor de acest fel;
3. Reabilitarea liniilor c.f. de pe Coridorul IV pan-european a constituit momentul principal pentru utilizarea materialelor geosintetice pe scară largă, în prima etapă pe intervalul București N - Câmpina, pentru aplicații de taluze abrupte și ziduri de pământ armat, ranforsarea platformei căii, separația dintre straturi, filtrarea și drenarea terasamentelor, prilej cu care au fost definitivată specificațiile tehnice necesare fiecărui tip de aplicație;
4. Soluțiile și specificațiile tehnice stabilite de SC ISPCF - SA, inclusiv cele de pe tronsonul București Nord - Câmpina au fost preluate în normativul românesc NP 075 - 02 "Normativ pentru utilizarea materialelor geosintetice la lucrările de construcții", pentru partea de căi ferate;
5. Pe baza experienței pozitive acumulate și a performanțelor tehnice dovedite ale acestor soluții tehnice, utilizarea materialelor geosintetice a fost extinsă în studiile de fezabilitate întocmite de SC ISPCF - SA pentru Coridoarele pan-europene IV și IX ce urmează a fi reabilite, cerințele de utilizare fiind cuprinse în termenii de referință la elaborare a proiectelor. Aceste soluții au fost aplicate atât în proiectele tehnice întocmite de SC ISPCF - SA cât și de alte unități de proiectare, care le-au preluat;
6. Materialele geosintetice și-au găsit o largă aplicabilitate la lucrările de intervenție pentru restabilirea circulației trenurilor, în condiții meteo - hidrologice speciale și în pământuri dificile, deoarece permit reducerea la minimum a timpilor cât liniile sunt scoase temporar din funcțiune.

BIBLIOGRAFIE

1. Fișa UIC 719 – Ouvrage en terre et couche d'assise ferroviaires
2. DB Clauss Gobel s.a. – Der Eisenbahn Unterbau
3. Ernst & Sohn – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO
4. Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Strassenbaus
5. F. Sathoff & F.F. Zitscher- Geokunststoffe in der Geotechik und im Wasserbau
6. Ceske Drahy – Zeleznicni spodek S4
7. EN 964 – Geotextile și produse înrudite. Determinarea grosimii la presiuni stabilite
8. EN 965 – Geotextile și produse înrudite. Determinarea masei pe unitatea de suprafață
9. EN 12236 – Geotextile și produse înrudite. Încercarea de perforare statica (CBR)
10. EN 13250 – Geotextile și produse înrudite. Caracteristicile impuse pentru utilizarea la construcția căii ferate
11. EN 13251 – Geotextile și produse înrudite. Caracteristicile impuse pentru utilizarea la construcții din pământ, fundații și structuri de sprijin
12. EN 13252 – Geotextile și produse înrudite. Caracteristicile impuse pentru utilizarea la sisteme de drenaj
13. DIN 18134 – Încercări de compresiune cu placa

14. DIN 4262 – 1 - Sisteme de conducte tubulare pentru drenarea subterană a construcțiilor inginerești
15. M.S. Matharu – Geogrids cut ballast settlement rate on soft substructures, Track Structure, Railway Gazette Int. March 1994
16. M.Vangaard, - The effect of reinforcement due to choice of geogrid, Proc Int Symposium on Pre-failure deformation characteristics of geomaterial, Torino, 1999
17. L Mica s.a. – Railway corridors construction using geogrids reinforcement in the Czech Republic
18. M Havrila s.a. – Stif geogrids for Slovak Railways
19. J. Seiler, DB AG – Versuche und praktische Erfahrungen mit gestreckten und gewebten Geogittern auf der Strecke Hochstadt/M – Probstzella der Fernbahn Munchen – Berlin
20. NP 075 - 02 "Normativ pentru utilizarea materialelor geosintetice la lucrările de construcții"
21. **** Refacție linia c.f. Videle - Roșiori km 55+000 - 101+270, interval Videle-Ciolpani, zona km 55+000 – 55+800, proiect ISPCF nr. 154/197/1998
22. **** Linia Podu Iloaiei - Hârlău. Consolidări terasamente interval Spinoasa - Belcești, zona km 19+400 – 19+600, proiect ISPCF nr.91/260/2000
23. **** Linia București -Timișoara. Restabilire circulație pe intervalul Domașnea-Poarta, km 432+400 – 432+500, proiect ISPCF nr.1/107/ 2000,
24. **** Redeschiderea și punerea în siguranță prin consolidări a liniei c.f Dornești - Vicșani, zona km 484+200 - km 484+300, proiect ISPCF nr.75/367/2001
25. **** Consolidare terasamente pe linia 813 Constanța – Mangalia, km 234+100 – 234+200, fir II, afectată de calamități în data de 14.10.2001, proiect ISPCF nr. 113/253/2002
26. **** Reabilitarea liniei c.f. București - Brașov, interval București – Câmpina, km 1+500 - km 94+600, proiect ISPCF faza DL nr. 10.1/730/2001
27. **** Zone calamitate pe rețeaua CFR din județele Bacău, Galați și Vrancea (iulie 2005). Linia c.f. 504 Adjud – Ciceu, Interval Sâmbrea - Palanca. Zona km 96+650 ÷km96+850.Consolidări terasamente+ Suprastructură c.f., proiect ISPCF nr. 5105/ 142 și147 din 08.2005
28. **** Zone calamitate pe rețeaua CFR din județele Bacău, Galați și Vrancea (iulie 2005). Linia c.f. 602 Mărășești - Tecuci, Interval Mărășești - Tecuci zona km 225+250 - km 226+600. Consolidări terasamente și suprastructură c.f., proiect ISPCF nr. 3104/327 din 08.2005
29. **** Zone calamitate pe rețeaua CFR din județele Bacău, Galați și Vrancea (iulie 2005). Linia București - Galați, interval Barboși Călători – Filești, zona km. 248+700 - 250+800, proiect ISPCF nr.3104/474 /2005.
30. **** Zone calamitate pe rețeaua CFR din județele Bacău, Galați și Vrancea (iulie 2005).Linia Ploiești-Vicșani, interval Adjud-Pufești, zona km 238+724-km 240+823, proiect ISPCF nr 3104/305/2005
31. **** Lucrări de punere în siguranță a liniei c.f. 813 CONSTANȚA – MANGALIA km 250+300 - km 252+950 , proiecte ISPCF nr. 3104/529 și 3104/530 din noiembrie 2005
32. S. Bucioacă, M. Ionescu, E. Terziman - Reabilitarea infrastructurii liniei de cale ferată București - Câmpina. Extinderea platformei căii utilizând geosintetice, GEOSINT 2002, UTCB, 15- 16.10.2002
33. L. Mărculescu, S. Bucioacă - Considerații asupra utilizării geotextilelor în infrastructura căii ferate, GEOSINT 2002, UTCB, 15- 16.10.2002
34. L. Mărculescu, S. Bucioacă - Utilizarea materialelor geosintetice la ramblee de cale ferată, GEOSINT 2002, GEOSINT 2002, UTCB, 15- 16.10.2002

35. S. Bucioacă, M. Ionescu, L. Mărculescu - Reabilitarea infrastructurii căilor ferate - o oportunitate pentru extinderea utilizării materialelor geosintetice, Primul simpozion național de căi ferate, UTCB, 24 - 25.10.2002
36. E. Oltean, S. Bucioacă, ș.a. - Reabilitarea liniei c.f. București - Câmpina, componentă a Coridorului IV Pan - European. Studii geotehnice pentru asigurarea capacității portante a fundației căii, UTCB, A- X-a Conferință Națională de Geotehnică și Fundații, 16 - 18. 09.2004