

FOLOSIREA GEOGRILELOR LA ASIGURAREA STABILITATII RAMBLEELOR - AUTOSTRADA TRANSILVANIA

GEOGRID REINFORCED EARTH UTILISATION TO THE EMBANKMENT SLOPE STABILITY - TRANSILVANIA MOTORWAY

Alexandru HOFFMAN, Alexandru Dennis UNGUREANU, Carmen BUCUR
Ing. doctorand – Director tehnic IRIDEX, Ing. doctorand – IPTANA,
Prof. dr. ing. - Universitatea Tehnică de Construcții București

REZUMAT. Autostrada Transilvania are o lungime de 415 km, patru benzi, pornește din centrul României, de la nord-vest de Brașov, și ajunge la Oradea, la granița cu Ungaria. Deoarece pe sectorul cuprins între orașele Cluj și Borș înălțimea taluzurilor este mai mare de 6.00 m pe cea mai mare parte a tronsonului și datorită caracteristicilor geotehnice ale terenului din amplasament, s-a verificat stabilitatea taluzurilor (debleu și rambleu) atât în condiții statice cât și cu luarea în considerare a seismului, (zona având un grad de seismicitate ridicat). Articolul își propune să prezinte modul de calcul și soluțiile alese de proiectant în rezolvarea problemelor ce au apărut privitor la stabilitatea rambleelor.

ABSTRACT. Transilvania Motorway covers 415 km in length and has been designed to accommodate two by two traffic lanes, starting from the central area of Romania, North-West of Brasov, ending in Oradea city area, at the Hungarian border. Since in the section extending from the cities of Cluj and Bors the slopes are over 6.00m high on most of this section, and due to the geotechnical characteristics of the ground at this location, slope stability was checked (in cut and fill) under both static and seismic circumstances (as the area is characterised by significant seismic events). This work is a presentation of the calculation procedures and related design stability solutions for embankment slope.

1. Introducere

Autostrada Transilvania are o lungime de 415 km, patru benzi, pornește din centrul României, de la nord-vest de Brașov, și ajunge la Oradea, la granița cu Ungaria.

Înălțimea taluzurilor mai mare de 6.00 m și caracteristicile geotehnice ale terenului de pe sectorul cuprins între orașele Cluj și Borș au impus verificări de stabilitate.

Obiectul studiului prezentat în articol îl reprezintă rambleele de pe acest sector al autostrăzii.

Calcululele au fost realizate automat, cu un program de calcul specific, ce permite obținerea factorului de stabilitate. Deoarece valorile acestuia erau sub cele minime admise pentru categoria de importanță a lucrării, s-au prevăzut sisteme de susținere a taluzului de debleu și lucrări de consolidare a taluzului de rambleu. Consolidarea taluzurilor de rambleu s-a realizat cu pământ armat cu geogridurile. Capacitatea portantă a geogridurilor și lungimea acestora s-au determinat printr-un calcul automat, din condiția de asigurare a stabilității conform normelor românești. Sarcinile luate în considerare sunt încărcări statice și dinamice. În acest articol este prezentat răspunsul structural numai la încărcările statice.

Suplimentar calculelor efectuate pentru proiectare se realizează un studiu numeric pe un model de calcul cu elemente finite. Tronsonul ales cuprinde secțiunile corespunzătoare celui mai mare rambleului. Discretizarea este realizată cu elemente bidimensionale în stare plană de deformare – pentru teren și elemente unidimensionale - pentru geogriile.

2. Dimensionarea ramblelor. Caz particular – Sectorul 3C / profil km 5+120

Analiza stabilității : Metoda care stă la baza analizei stabilității terasamentelor este metoda de echilibru limită Bishop. Calculul este automat, folosind programul SLOPE/W - versiunea 4. Pentru definirea suprafețelor potențiale de alunecare, este utilizată o rețea a centrelor suprafețelor de alunecare și un set de drepte tangente la acestea, figura 2.1.

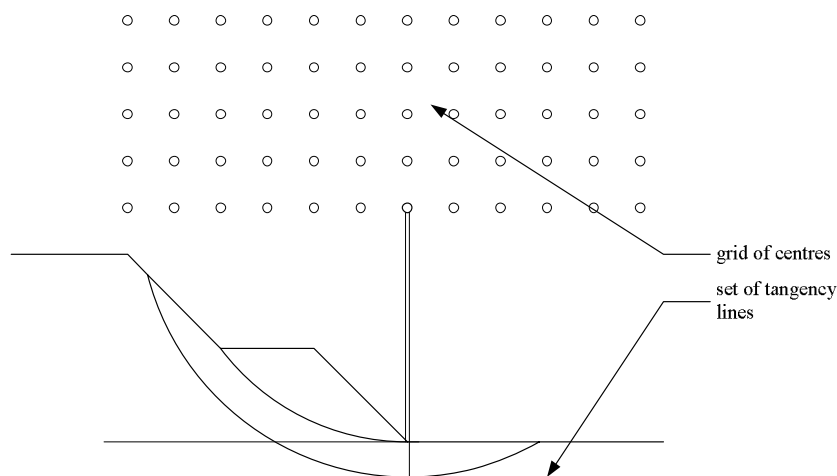


Fig. 2.1: Alegerea suprafețelor potențiale de alunecare

Se pot defini suprafețe de alunecare locale, pentru o parte din terasament sau suprafețe generale de alunecare, pentru întreg profilul transversal studiat. Metoda are avantajul de a nu limita dezvoltarea suprafeței de alunecare doar în rambleu, debleu sau la nivelul bernei, putând lua în considerare și prezența rocii de bază sau a unor straturi cu caracteristici mecanice slabe, care pot influența poziția suprafeței critice de alunecare.

Pentru a determina suprafața critică de alunecare (pentru care factorul de siguranță la stabilitate este minim), sunt analizate toate combinațiile posibile de centre ale suprafețelor de alunecare și linii tangente la acestea. Rezultatele sunt prezentate sub forma unor curbe de egal factor de siguranță, fiind scos în evidență factorul de siguranță minim corespunzător suprafeței critice de alunecare.

Dacă valoarea minimă a factorului de siguranță corespunde unui centru ce se află la marginea rețelei de centre, figura 2.2, această rețea va fi extinsă până când poziția factorului de siguranță minim va fi încadrată de curbe cu factor de siguranță mai mare, figura 2.3.

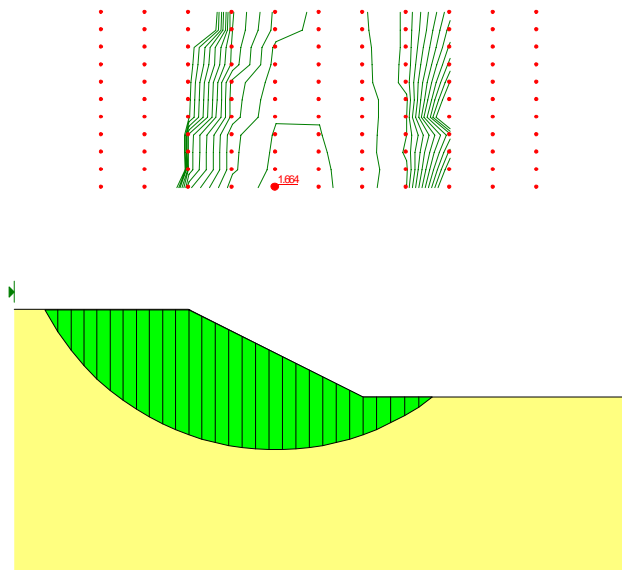


Fig. 2.2: Rețea de centre poziționată incorect

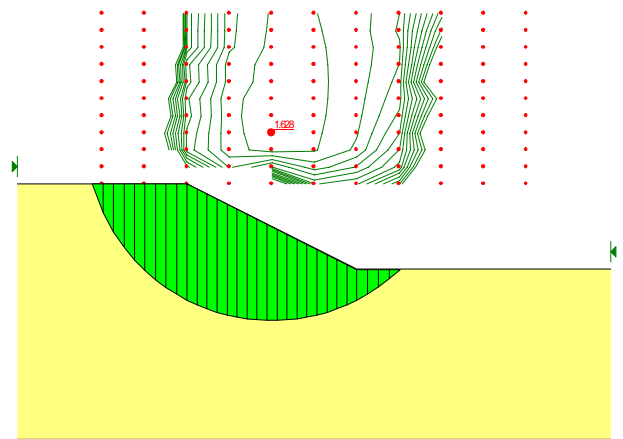


Fig. 2.3: Rețea de centre poziționată corect

Dimensionarea structurilor de pământ armat : Programul SLOPE/W permite determinarea, prin încercări, a forței ce trebuie asigurată de geogridurile pentru a se obține un factor de siguranță acceptabil în vederea asigurării stabilității masivului de pământ. Odată ce această forță este cunoscută, pot fi determinate lungimile de ancorare și capacitățile portante ale geogridurilor. Dimensionarea structurii de pământ armat cu geogridurile s-a realizat utilizând metoda Bishop. Factorul de siguranță la stabilitate este calculat ca raportul dintre momentul dat de rezistența la forfecare a terenului și de forța de întindere în geogridurile, și momentul dat de masa de pământ alunecător și de supraîncărcare. Aceste momente sunt determinate în raport cu centrul de rotație al suprafeței de alunecare. Ecuația de stabilitate este :

$$M_d = M_{rs} + M_{rr} \quad (1)$$

unde : M_d este momentul dat de masa de pământ alunecător și de supraîncărcare;

M_{rs} este momentul dat de rezistența la forfecare a terenului;

M_{rr} este momentul dat de forța de întindere în geogridurile.

În program se consideră că forța de întindere efectivă ce apare în geogridurile este direct proporțională cu lungimea geogridului din spatele suprafeței de alunecare. De exemplu, dacă suprafața de alunecare trece pe la jumătatea lungimii de încastrare a geogridului, forța de întindere din geogridurile este egală cu jumătate din capacitatea portantă a geogridurilor. Ecuația de calcul a forței de întindere efectivă în geogridurile este :

$$\text{Forța efectivă în geogridurile} = \frac{\text{lungimea efectivă}}{\text{lungimea de încastrare}} \times \text{capacitatea portanță} \quad (2)$$

Forța de întindere din geogridurile este luată în considerare la calculul de stabilitate dacă geogridurile intersectează baza unei fâșii. Lungimea totală a geogridurilor trebuie determinată astfel încât în spatele suprafeței de alunecare să se asigure lungimea de încastrare corespunzătoare capacității portante.

Dacă factorul de siguranță rezultat este mai mic decât factorul de referință, momentul de stabilitate poate fi mărit prin reducerea distanței dintre geogriile sau prin alegerea altui tip de geogriile, cu capacitate portantă sporită.

Stabilirea valorilor de calcul : Datele de bază - descrierea straturilor, fișele de foraj, rezultatele analizelor in-situ și de laborator, monitorizarea nivelului piezometric - au fost preluate din rapoartele geotehnice. În calcul au fost folosite valorile minime dintre cele obținute din analize de laborator și cele obținute din literatura de specialitate (STAS 3300-1/85 - anexa C, teoria lui Maslov [5]).

Valoarea de referință pentru factorul de siguranță la stabilitate în funcție de categoria de importanță a construcției („autostrăzi”), este:

$$F_s^{\text{static}} = 1,5 \pm 3\% \quad (3)$$

Profilele de calcul au fost selectate în funcție de geometrie, caracteristicile terenului și nivelul apei subterane. În figura 2.4 sunt prezentate câteva profile transversale.

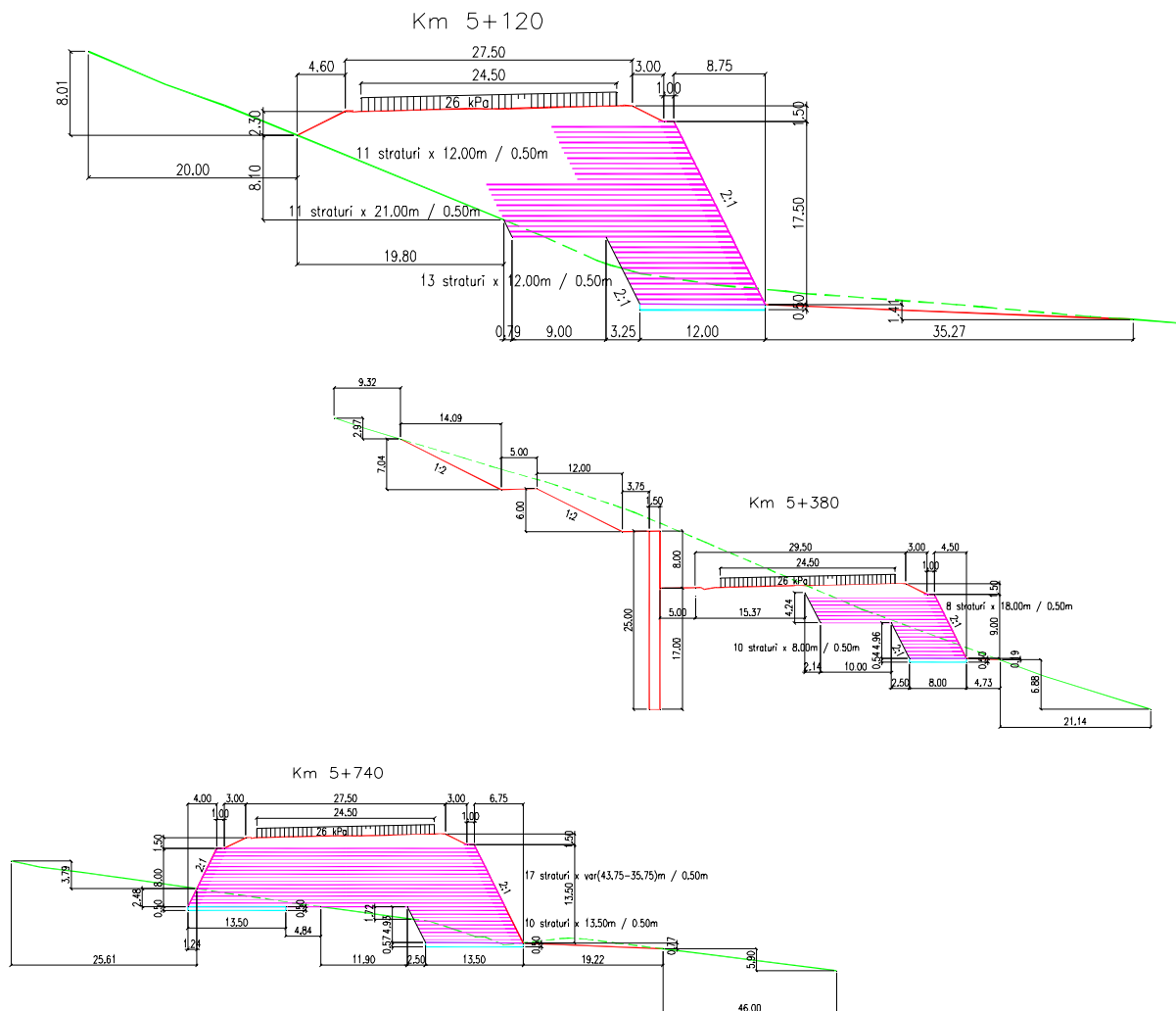


Fig. 2.4 Exemple de profile transversale

Analizând profilele transversale caracteristice ale tronsonului studiat s-a ales ca profil reprezentativ pentru a fi prezentat cel de la km 5+120 care are cea mai mare înălțime și anume 19,00 m..

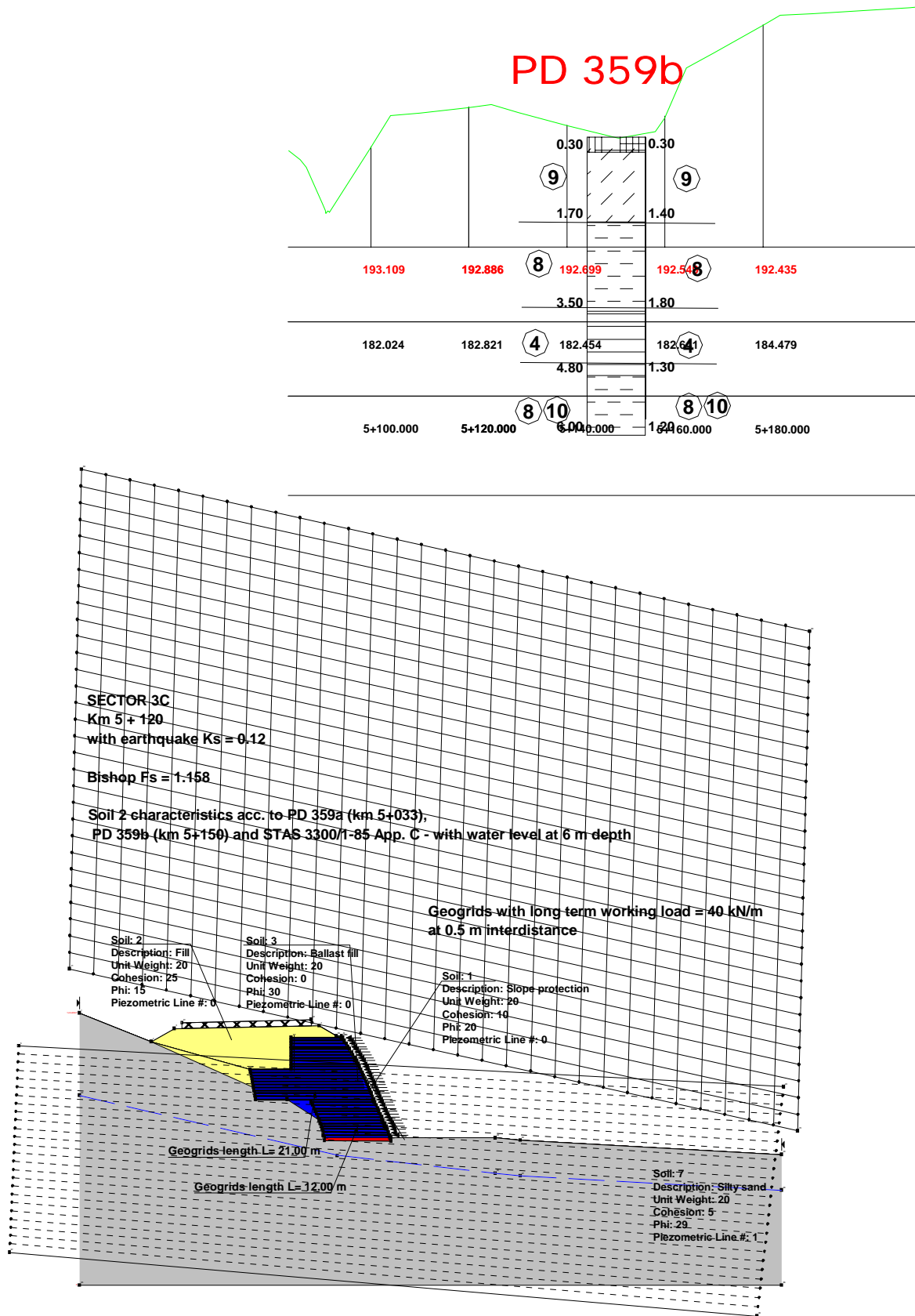


Fig. 2.5: Definierea profilului de calcul in SLOPE/W

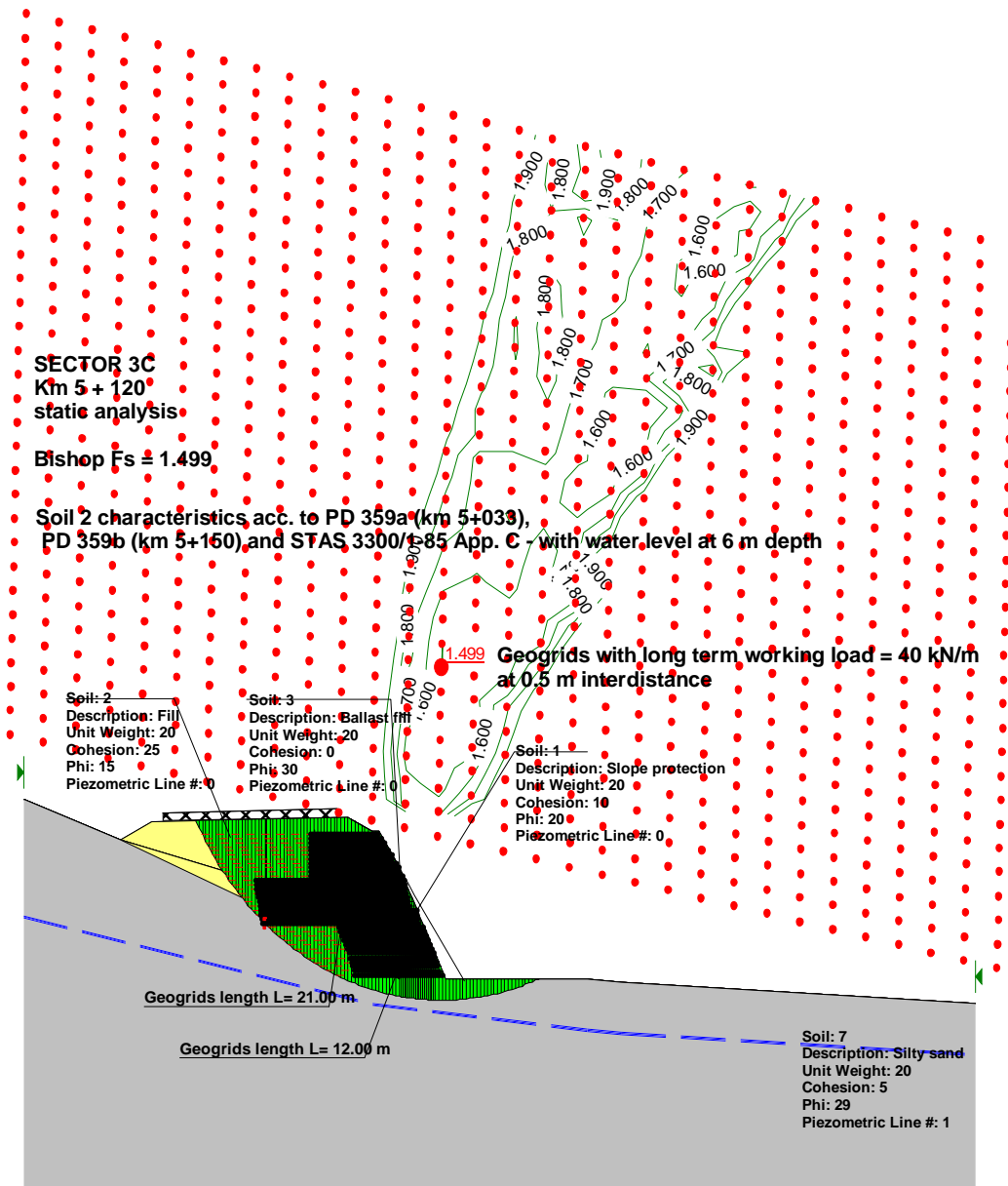


Fig. 2.6: Rezultatul analizei de stabilitate in calculul static

În urma calculului efectuat s-a ajuns la o distribuție a geogriurilor în trei zone ce diferă prin număr și lungime. Zona inferioară alcătuită din 13 straturi de 12 metri lungime, zona centrală alcătuită din 11 straturi de 21 metri lungime și zona superioară alcătuită din 11 straturi de 12 m lungime.

3. Studiu folosind modelarea cu elemente finite

3.1. Modelul de calcul

Dimensiunile generale ale modelului trebuie să fie de așa manieră încât influența rambleului în terenul natural să poată fi considerată practic nulă. Poziția nodurilor modelului de calcul a fost aleasă astfel încât să se poată urmări cât mai fidel alcătuirea complexă a profilului; teren natural, umplutura, balastul dintre geogriurile. Pasul de discretizare permite determinarea, cu încredere, a răspunsului mecanic structural atât pentru deplasări cât și pentru eforturi unitare.

Elementele finite alese pentru modelare sunt:

- pentru terenul natural și de umplură tipul elementului finit este bidimensional cu două grade de libertate pe nod de tip translație în planul structurii, în stare plană de deformare (deformațiile specifice pe direcția perpendiculară pe plan sunt nule);
- pentru geogriile tipul elementului finit este unidimensional dublu articulate, legate la nodurile elementelor bidimensionale;
- pe conturul modelului au fost introduse următoarele legături: (i) pe laturile verticale din stânga și dreapta modelului sunt introduse resorturi atât pe direcție orizontală cât și pe verticală; (ii) pe latura orizontală inferioară sunt introduse reazeme rigide pe direcția verticală și resorturi pe direcția orizontală; valoarea constantei elastice variază în trei trepte astfel ca să treacă de la valoarea corespunzătoare din stânga modelului unde înălțimea terenului natural este de 24,0 m la valoarea corespunzătoare din dreapta modelului unde înălțimea terenului este de 3,5 m.

Astfel a rezultat un număr de 1976 noduri, 1941 de elemente finite bidimensionale, 519 de elemente finite unidimensionale și 137 elemente finite elastice. Numărul de ecuații este de 3809. Modelul este prezentat în figura 3.1. În figura 3.2 este prezentat modelul de calcul cu distribuția materialelor.

Încărcările considerate sunt greutatea proprie și o suprasarcină de 26 kPa.

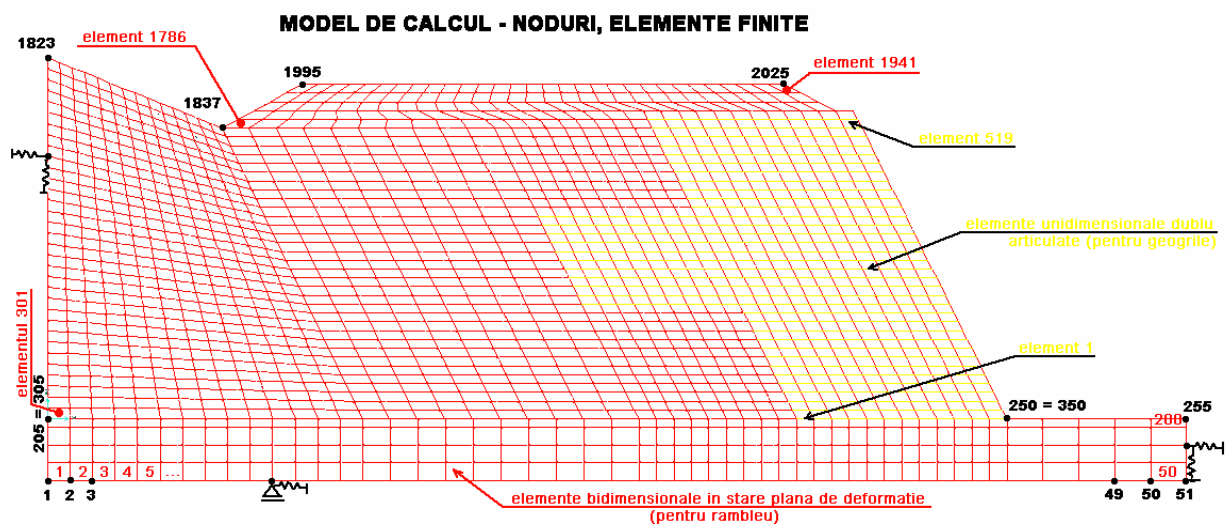


Fig. 3.1 Modelul de calcul

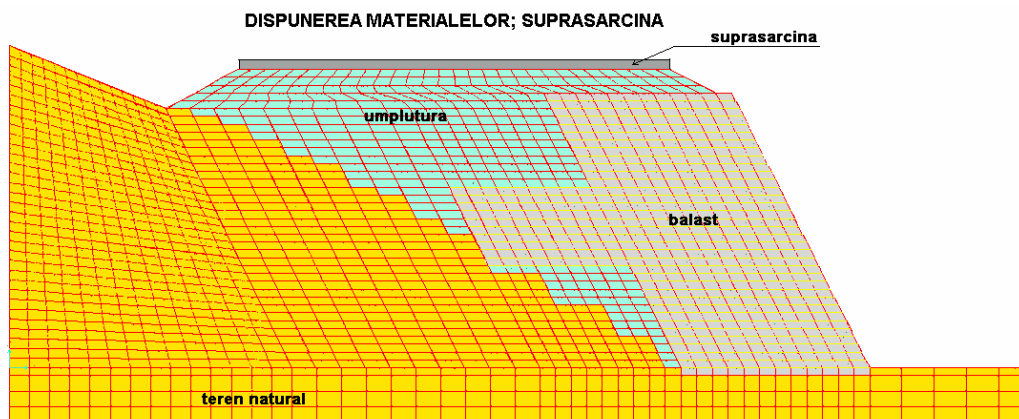


Fig. 3.2 Dispunerea materialelor

Programul de calcul folosit este din familia SAP.

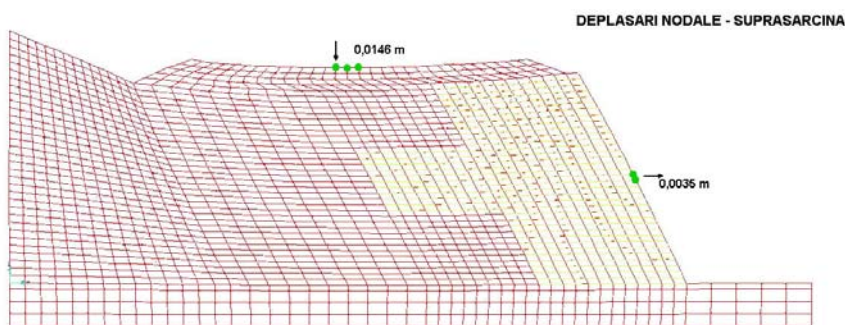
3.2. Rezultate. Comentarii

3.2.1. Deplasări.

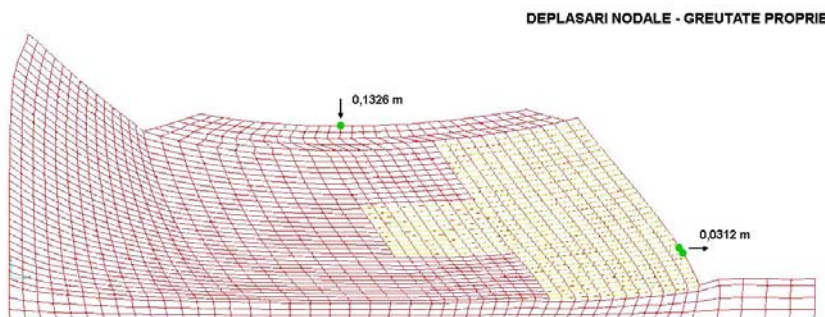
Valorile deplasărilor nodale maxime sunt sistematizate în tabelul 3.1. În figurile 3.3 a/b, sunt prezentate deplasările modale pentru cele două încărcări: suprasarcina și greutatea proprie, indicându-se valorile maxime și pozițiile acestora.

Tabel 3.1 Deplasări nodale maxime

Încărcare	Nod	Direcția pe care are loc deplasarea	Valoarea (m)
Suprasarcina	2008, 2009, 2010	verticală	0,0146
	1132, 1178	orizontală	0,0035
Greutate proprie	2008	verticală	0,1326
	718, 764	orizontală	0,0312



a.



b.

Fig. 3.3 Deplasări nodale
(a) suprasarcina, (b) greutatea proprie

Studiind poziția nodurilor unde deplasările orizontale au valori maxime se constată că pentru încărcarea cu suprasarcină deplasarea maximă este la jumătatea înălțimii taluzului, iar pentru încărcarea cu greutate proprie deplasarea maximă este la circa 1/4 din înălțimea taluzului măsurată de la bază.

3.2.2. Eforturi axiale în geogriile și eforturi unitare.

Forțele axiale maxime din geogriile sunt prezentate în tabelul 3.2. Diagramele de eforturi sunt reprezentate în figura 3.4 a/b.

Tabel 3.2 Forțele axiale în geogriile

Încărcarea	Număr element finit	Valoare [kN/m]
Suprasarcina	12	- 0,35
	157	+ 0,45
Greutatea proprie	12	- 4,30
	163	+ 2,82

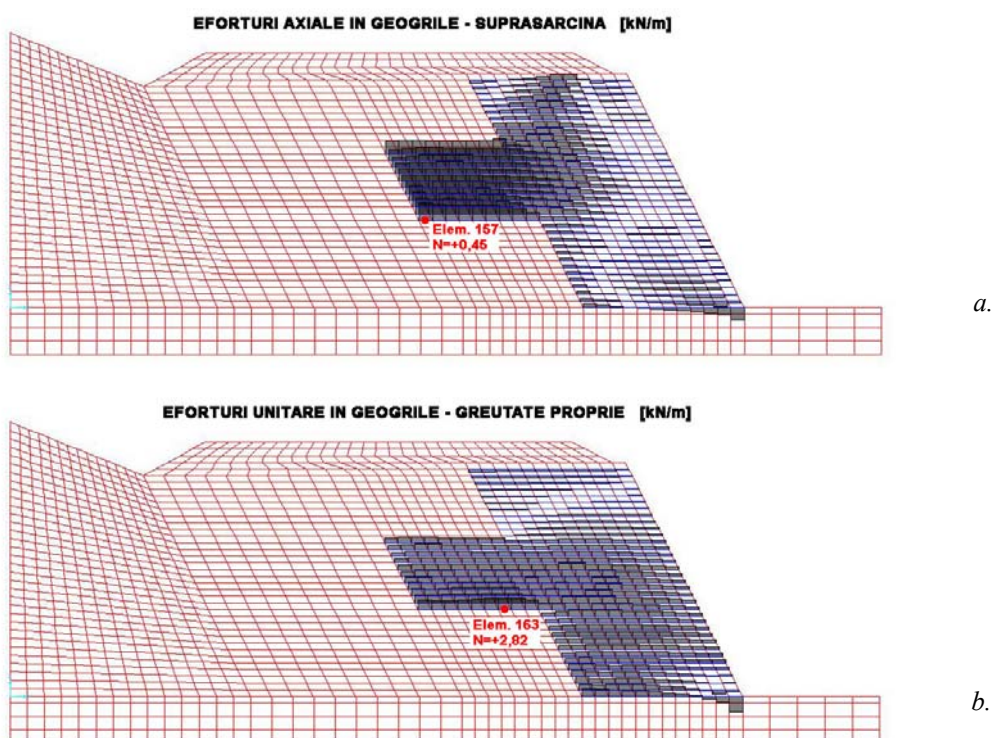


Fig. 3.4 Forțele axiale în geogriile
(a) suprasarcina, (b) greutatea proprie

Din studiul diagramelor se constată că apar și unele eforturi de compresiune în straturile superioare și la nivelul ultimei geogriile (elementul finit 12). La partea superioară valorile sunt foarte mici și sunt urmare a deformării structurii. Pentru ultimul strat valorile negative sunt mai semnificative dar nu pot fi luate „ad litteram” deoarece acolo corpul construit al rambleului se îmbină cu terenul natural și apare un punct de pronunțată discontinuitate a rigidităților.

Valoarea maximă obținută este de 2,82 kN/m fiind mult mai mică decât capacitatea geogriilei utilizate.

3.2.3. Eforturi unitare în rambleu

Valorile eforturilor unitare extreme pe diferite direcții, maxime, minime și „Von Mises” pentru elementele bidimensionale sunt sistematizate în tabelul 3.3. În figurile 3.5 a/b, sunt prezentate

numai eforturile unitare maxime, minime și „Von Mises” pentru cele două încărcări: suprasarcina și greutatea proprie.

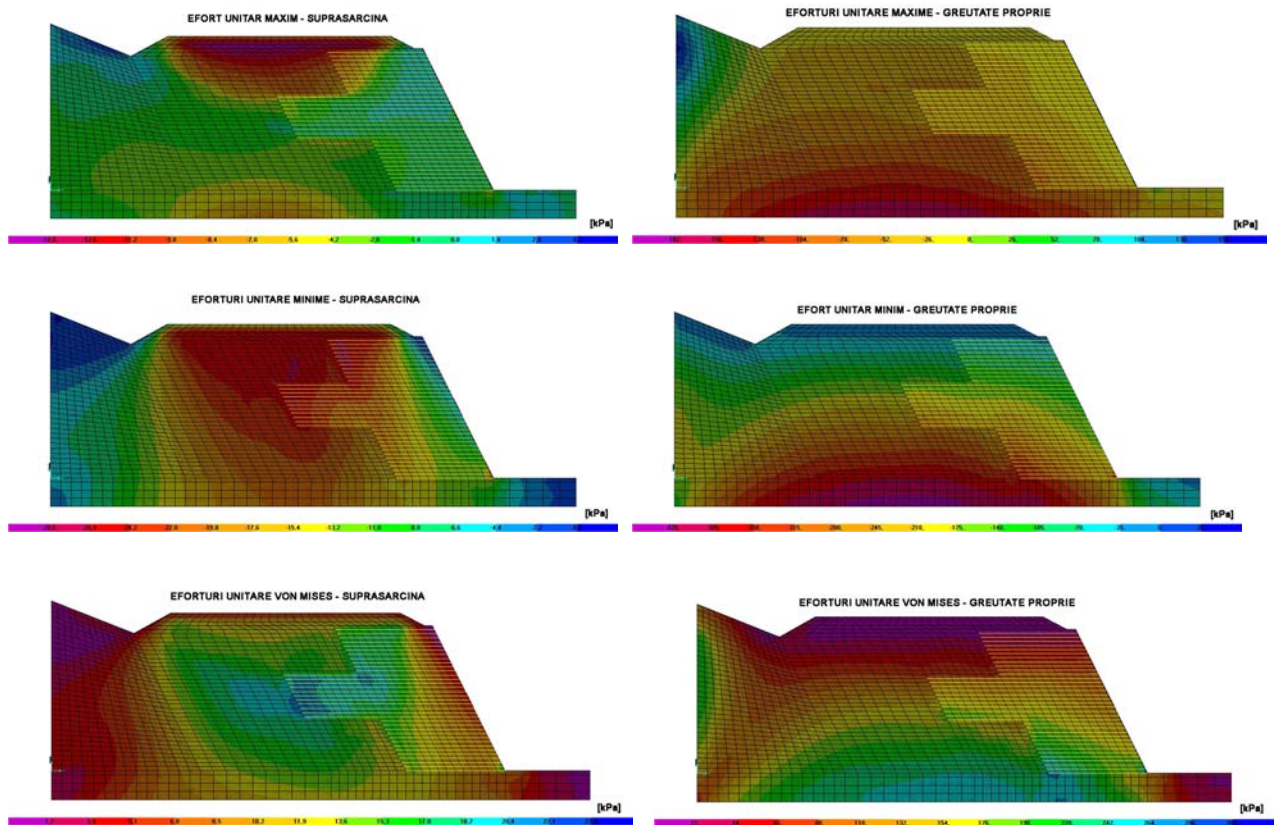
Tabel 3.3 Eforturi unitare în rambleu

Încărcarea	Direcția eforturilor unitare	Nod	Valoare [kPa]
Suprasarcina	Orizontală	1953	- 16,20
		1834	+ 3,66
	Verticală	1889	- 27,40
		1869	+ 3,29
	In lungul rambleului	1953	- 15,70
		1869	+ 2,37
	Maxime	1953	- 15,20
		1869	+ 5,29
	Minime	1719	- 27,60
		1547	+ 0,18
Von Mises	1455	0,25	
	1066	22,20	
Greutatea proprie	Orizontală	350	- 193,00
		1823	+ 130,00
	Verticală	22	- 436,00
		1823	+ 25,40
	In lungul rambleului	22	- 187,00
		1823	+ 48,20
	Maxime	20	- 183,00
		1547	+ 171,00
	Minime	22	- 437,00
		1825	- 3,92
Von Mises	1835	7,45	
	350	305,00	

O primă observație privește compunerea eforturilor pe diverse direcții. Se constată că unele valori extreme apar în aceleași noduri pe direcții diferite: 1953 / 1869 la încărcarea cu suprasarcină sau 22 / 1823 pentru încărcarea cu greutate proprie.

O altă observație ar fi referitor la modul de distribuție al eforturilor în masa rambleului pentru cele două tipuri de încărcări: (i) valorile maxime sunt la partea superioară pentru suprasarcină și la baza rambleului pentru încărcarea din greutate proprie; (ii) valorile maxime „Von Mises” sunt în zona de mijloc a rambleului pentru suprasarcină și tot la baza rambleului pentru încărcarea din greutate proprie; (iii) eforturile minime sunt dispuse într-o paletă coloristică în zone de tip dungi verticale pentru suprasarcină și sunt dispuse într-o paletă coloristică în zone de tip dungi orizontale pentru încărcarea din greutate proprie.

Articolul prezintă abordarea în paralel, pe două modele de calcul, a dimensionării aceluiași rambleu. Multitudinea de date de ieșire obținute prin folosirea modelului cu elemente finite a făcut ca în acest articol să fie prezentate numai rezultatele și observațiile referitoare la încărcările statice. Autorii își propun ca în viitor să prezinte și interpretarea datelor obținute din studiul dinamic.



a. b.
 Fig. 3.5 Eforturi unitare în rambleu : (a) suprasarcina, (b) greutatea proprie

Bibliografie

1. C. Bucur, D. Zdrengea, I. Moise – Modernisation of a railway tunnel for high speed. Case study – Romania – IABSE Symposium 2003, Structures for High Speed Railway Transportation articolul ANT155/pe CD, Proceedings pp. 186-187, ISBN 3-85748-109-9/Belgia, August 27-29, 2003, Antwerp, Belgia
2. V. Fierbințeanu, C. Bucur - Abordări moderne în analiza stării de solicitare la construcțiile subterane cu particularizări la tuneluri feroviare - Revista transporturilor și telecomunicațiilor nr. 7-1989 pp.102-107
3. R. L. Handy - Geotechnical Engineering: Soil and Foundation Principles and Practice - McGraw-Hill Education 2007
4. W. Van Impe – Case History: A Submerged Embankment on Soft Soil – ISSMGE Bulletin, Vol. 1, Issue 1.
5. C. Marinescu – Asigurarea stabilității terasamentelor și versanților – Ed. Tehnică București 1988
6. R. W. Sarby – Geosynthetics in civil engineering – University of Wolverhampton, UK, 2006
7. Transilvanian motorway proiect – IPTANA
8. Foundation Handbook, Vol I, U. Smoltezyk, 1990
9. Manualul de utilizare Program SLOPE/W - versiunea 4.
10. Manualul de utilizare Program SAP2000
11. Reglementări tehnice în vigoare în România (STAS 3300-1/85 - anexa C).